

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA
Titulación: **INGENIERÍA DE MINAS**

PROYECTO DE FIN DE CARRERA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y
COMBUSTIBLES

**ESTACIÓN DE SERVICIO DE GAS
NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO
PARA VEHÍCULOS**

JOSÉ MANUEL SANTISTEBAN ARRIBAS

MAYO DE 2015

Titulación: INGENIERÍA DE MINAS

Plan: [1996]

Autorizo la presentación del proyecto

**ESTACIÓN DE SERVICIO DE GAS NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO PARA
VEHÍCULOS**

Realizado por

JOSÉ MANUEL SANTISTEBAN ARRIBAS

Dirigido por

ENRIQUE QUEROL ARAGÓN

Firmado: Prof. ENRIQUE QUEROL ARAGÓN

Fecha: 5 de mayo de 2015

Agradecimientos

A mis padres, José Manuel y María Eugenia por darme todo cuanto tengo y he conseguido en esta vida pues de no ser por su apoyo, orientación, paciencia y dedicación incondicional no habría llegado hasta aquí. Gracias de nuevo a mis padres por no haberse rendido nunca conmigo y por ayudarme a ser cada día mejor persona.

A mi hermana María por ayudarme tanto siempre, sobre todo con los planos del proyecto y por tener tanta paciencia conmigo.

A mi hermana Carmen, por sonreír siempre, apoyarme y darme cada día tantas lecciones de madurez.

A mi tía Paloma por orientarme en mis decisiones y por toda su dedicación y apoyo a lo largo de mi vida.

A mis abuelos que tanto quiero y me apoyan todos los días en mis decisiones.

A toda mi familia en general, tíos y primos con los que he crecido y con los que paso tan buenos momentos.

A todos mis amigos por estar a mi lado, por seguir enseñándome y aguantarme tanto.

A mi profesor y tutor Enrique Querol por haberme brindado toda la ayuda que he necesitado en el proyecto y en las asignaturas que he cursado con él. Gracias de nuevo a Enrique por su implicación, tiempo y dedicación a mi proyecto, algo que no puede pagarse con nada.

ÍNDICE

RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
DOCUMENTO Nº 1: MEMORIA.....	1
1 OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO.....	2
2 ANTECEDENTES	3
2.1 GNC PARA VEHÍCULOS LIGEROS	4
2.2 GNL PARA EL SECTOR TRANSPORTISTA	4
2.3 SITUACIÓN DE MERCADO MUNDIAL.....	5
2.4 MARCO EUROPEO.....	6
2.4.1 Proyecto Blue Corridors	6
2.5 MARCO ESPAÑOL	7
2.5.1 Marco legislativo Español.....	7
2.5.2-Proyecto MidCat.....	8
2.5.3-Proyecto GARnet	8
2.5.4-Primer trayecto realizado.....	9
2.5.5 Estaciones L-GNC y corredores nacionales	10
2.6 TECNOLOGÍAS DE CAMIONES GNL.....	11
2.6.1 Iveco Stralis LNG. Mono-Fuel Technology. 330 HP, 1300 Nm.....	11
2.6.2-Volvo FM Methane Diesel Truck. Dual Fuel Technology. 460 HP, 2300 Nm.....	13
3 EMPLAZAMIENTO	15
3.1 UBICACIÓN	15
3.2 PARCELA	15
3.3 SUPERFICIES.....	16
3.4 CONDICIONES URBANÍSTICAS	16
4 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN	17
4.1 PROCESO PRODUCTIVO	17
4.1.1 Obtención GNL.....	17
4.1.2- Obtención GNC.....	17
4.1.3-Suministro de GNL.....	18
4.1.4-Suministro de GNC	18
4.2-COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN.....	19
4.2.1-Depósito criogénico de GNL	19
4.2.2-Skid de GNL	20
4.2.3-Skid de GNC y boil-off.....	24
4.2.4 Dispensador de GNC.....	27
4.2.5 Dispensador de GNL	28
4.2.6 Líneas de GNC.....	30
4.2.7 Líneas de GNL	31
4.2.8 Líneas de recuperación de boil-off.....	31
4.3 INSTALACIÓN AIRE COMPRIMIDO	31

4.4	INSTALACIÓN DE DRENAJES Y VENTEOS	31
4.5	VENTILACIÓN	32
4.6	MAQUINARIA Y POTENCIA INSTALADA	33
4.7	COMPOSICIÓN Y PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA	33
4.7.1	<i>Composición</i>	33
4.7.2	<i>Poder Calorífico Superior (PCS)</i>	34
4.7.3	<i>Poder Calorífico Inferior (PCI)</i>	34
4.7.4	<i>Densidad relativa</i>	34
4.7.4	<i>Propiedades principales del gas natural</i>	34
4.8	INSTALACIÓN ELÉCTRICA	35
4.8.1	<i>General</i>	35
4.8.2	<i>Caja de protección y media</i>	35
4.8.3	<i>Derivación individual</i>	35
4.8.4	<i>Cuadro de distribución</i>	35
4.8.5	<i>Líneas de alimentación y control</i>	36
4.9	PERSONAL	37
5	JUSTIFICACIÓN, CÁLCULOS Y FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA	38
5.1	BOMBEO GNL DESDE CISTERNA HASTA TANQUE	38
5.2	DIMENSIONES TANQUE GNL	38
5.3	ESTUDIO DIMENSIONES DEL CAMIÓN IVECO STRALIS LNG	38
5.3.1	<i>Suministro máximo diario</i>	39
5.4	DIMENSIONAMIENTO TUBERÍA GNL	40
5.4.1	<i>Espesor de chapa</i>	41
5.4.2	<i>Flujo de calor por unidad de área</i>	42
5.4.3	<i>Cálculo de la velocidad y pérdida de carga en la tubería GNL</i>	43
5.4.4	<i>Conexión tanque GNL – dispensador GNL</i>	45
5.5	DIMENSIONAMIENTO TUBERÍA GNC	46
5.5.1	<i>Espesor de chapa</i>	47
5.6	TRAYECTO 1: TANQUE GNL A BOTELLAS DE ALMACENAMIENTO.....	48
5.6.1	<i>Cálculo del caudal real desde vaporizador hasta botellas</i>	48
	<i>Cálculo del caudal real</i>	50
5.7	TRAYECTO 2: BOTELLAS DE ALMACENAMIENTO AL CAMIÓN.....	51
5.7.1	<i>Cálculo de caudales entre las botellas de almacenamiento y el camión</i>	51
5.7.2	<i>Cálculo de la presión a la llegada del surtidor</i>	52
5.7.3	<i>Cálculo del caudal normal máximo en el caso de no haber regulador de presión</i>	52
5.7.4	<i>Cálculo de la velocidad real de suministro</i>	53
5.8	TIEMPOS DE CARGA	54
5.9	PRESIÓN EN LAS BOTELLAS DESPUÉS DE SUMINISTRO QUE GARANTIZA LA OPERACIÓN	55
5.10	GESTIÓN DEL BOIL-OFF	56
5.10.1	<i>Volumen geométrico del tanque de boil-off</i>	57
5.10.2	<i>Caudal másico</i>	58
5.10.3	<i>Tiempo de suministro</i>	58
5.10.4	<i>Cambio en la composición de producto con el tiempo</i>	58
6	VALVULERÍA	59
6.1	VÁLVULAS DE COMPUERTA.....	59
6.2	VÁLVULAS DE MACHO	59
6.3	VÁLVULAS ESFÉRICAS	60
6.4	VÁLVULAS DE GLOBO	60

6.5 VÁLVULAS DE MARIPOSA	61
6.6 VÁLVULAS DE DOBLE BLOQUEO	61
6.7 VÁLVULAS DE RETENCIÓN	62
6.8 VÁLVULAS AUTORREGULADORAS.....	63
6.9 VÁLVULAS DE SEGURIDAD	63
6.10 VÁLVULAS DE CONTROL.....	64
7 CUMPLIMIENTO DE NORMATIVA Y SEGURIDAD	66
7.1 CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE 60210:2001 SOBRE PLANTAS SATÉLITE DE GAS NATURAL LICUADO.....	66
7.1.1 <i>Instalación de descarga</i>	66
7.1.2 <i>Instalación de almacenamiento</i>	66
7.1.3 <i>Instalación de regasificación</i>	66
7.1.4 <i>Tuberías, válvulas y uniones</i>	66
7.1.5 <i>Instalación de control</i>	66
7.1.6 <i>Instalación eléctrica</i>	67
7.1.7 <i>Instalación contra incendios</i>	67
7.1.8 <i>Instalación de odorización</i>	67
7.1.9 <i>Emplazamiento</i>	67
7.1.10 <i>Distancias de seguridad</i>	67
7.2 CUMPLIMIENTO DE LA NORMA UNE 60631-1:2008 SOBRE ESTACIONES DE SUMINISTRO DE GNC A VEHÍCULOS	68
7.2.1 <i>Instalación de almacenamiento</i>	68
7.2.2 <i>Aparatos suministradores</i>	68
7.2.3 <i>Venteos</i>	68
7.2.4 <i>Valvulería</i>	68
7.2.5 <i>Sistemas de corte en caso de emergencia</i>	69
7.3 CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA AMBIENTAL.....	69
7.4 CUMPLIMIENTO DE LA ORDENANZA SOBRE PROTECCIÓN ACÚSTICA Y VIBRATORIA	70
7.5 RIESGO DE INCENDIO, DEFLAGRACIÓN O EXPLOSIÓN	70
7.5.1 <i>Accesibilidad equipos de extinción</i>	70
7.5.2- <i>Cumplimiento de la normativa contra incendios</i>	70
7.6 SEGURIDAD DE UTILIZACIÓN, LABORAL Y OTROS RIESGOS COLECTIVOS	71
7.6.1 <i>Paros de emergencia</i>	72
7.6.2 <i>Rotura de manguera</i>	72
7.7 DISTANCIAS DE SEGURIDAD	72
7.7.1 <i>Equipos</i>	72
7.7.2 <i>Elementos</i>	72
7.8 ÁREAS CLASIFICADAS.....	73
7.8.1 <i>Instalación de compresión y almacenamiento</i>	73
7.8.2 <i>Dispensadores</i>	73
7.8.3 <i>Colector de venteos</i>	74
7.9 AGUA POTABLE.....	74
8 EJECUCIÓN DE LA OBRA Y PUESTA EN SERVICIO	75
8.1- CALIFICACIÓN DE LA ACTIVIDAD	75
8.2-DESCRIPCIÓN OBRA.....	75
8.3-PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO	76
8.3.1- <i>Prueba de resistencia mecánica</i>	76
8.3.2- <i>Prueba de estanqueidad</i>	76
8.3.3- <i>Puesta en frío</i>	76
8.4-EXPLOTACIÓN	76

8.5-MANTENIMIENTO Y PRUEBAS PERIÓDICAS.....	77
8.6-PLANIFICACIÓN	77
BIBLIOGRAFÍA	79
DOCUMENTO Nº 2: ESTUDIO ECONÓMICO	83
1 PRESUPUESTO	85
2 SENSIBILIDAD	89
2.1 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	90
3 RENTABILIDAD.....	93
DOCUMENTO Nº 3: PLANOS	95
1 SITUACIÓN	97
2 PARCELA.....	97
3 EMPLAZAMIENTO DE LA PARCELA Y EXISTENCIAS	97
4 INTERVENCIÓN 1	97
5 INTERVENCIÓN 2 - DIMENSIONES	97
6 INTERVENCIÓN 3 – ELEMENTOS Y SECCIONES	97
7 RADIO DE GIRO CAMIÓN GNC.....	97
8 RADIO DE GIRO CAMIÓN GNL	97
9 DISTANCIAS DE SEGURIDAD	97
10 DESCARGA GNL – CAMIÓN CISTERNA.....	97
11 INSTALACIÓN MECÁNICA 1	97
12 INSTALACIÓN MECÁNICA 2	97
13 INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y NEUMÁTICA.....	97
14 INSTALACIÓN CONTRA INCENDIOS.....	97
15 SECCIONES 1 Y 2	97
16 SECCIONES 3 Y 4	97
17 EQUIPOS.....	97
18 DIAGRAMA DE FLUJO.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Diferencia de precios Diésel-GNC</i>	4
<i>Figura 2: Proyección de y situación real de la producción de vehículos adaptados al consumo de gas natural vehicular</i>	5
<i>Figura 3: Corredores europeos de suministro de GNL/GNC: línea verde (Atlántico), línea roja (Mediterráneo), línea amarilla (Oeste a Este) y línea azul (Norte a Sur)</i>	6
<i>Figura 4: Socios colaboradores del Proyecto Blue Corridors</i>	7
<i>Figura 5: Estación L-GNC permanente, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha</i>	9
<i>Figura 6: Estación L-GNC móvil, km 17, M-607, Tres Cantos, Madrid</i>	9
<i>Figura 7: Primer trayecto realizado por el proyecto Blue Corridors (Castellón-Picaenza)</i>	9
<i>Figura 8: Camión Iveco Stralis LNG repostando GNL [Estación L-GNC móvil, km 17, M-607, Tres Cantos, Madrid]</i>	11
<i>Figura 9: Esquema tanque GNL – Iveco Stralis</i>	12
<i>Figura 10: Ubicación tanque GNL, Iveco Stralis (flecha) [Estación L-GNC móvil, km 17, M-607, Tres Cantos, Madrid]</i>	13
<i>Figura 11: Volvo FM Methane Diesel</i>	13
<i>Figura 12: Ubicación del tanque GNL</i>	14
<i>Figura 13: tanque GNL, Volvo FM Methane Diesel</i>	14
<i>Figura 14: Esquema funcionamiento instalación GNC a partir de GNL</i>	18
<i>Figura 15: Depósito criogénico GNL de 60 m³ [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]</i>	19
<i>Figura 16: Esquema de skid GNL</i>	20
<i>Figura 17: Vista de vaporizador ambiental vertical de alta presión [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]</i>	21
<i>Figura 18: Vista del vaporizador PPR [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]</i>	21
<i>Figura 19: Vista del acondicionador [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]</i>	22
<i>Figura 20: Bomba criogénica de pistones. Modelo: VT-140/35 TW 6,5 de Vanzetti (30 kW de potencia) [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]</i>	22
<i>Figura 21: Vista de bomba criogénica centrífuga sumergida</i>	23
<i>Figura 22: Esquema de un skid GNC y boil-off</i>	24
<i>Figura 23: Racks de botellas de almacenamiento GNC [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]</i>	25
<i>Figura 24: Depósito almacenamiento boil-off [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]</i>	25
<i>Figura 25: Vista del odorizador en la instalación [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]</i>	27
<i>Figura 26: Vista del vaporizador depósito de boil-off [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]</i>	27

<i>Figura 27: Surtidor de GNC [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]</i>	28
<i>Figura 28: Dispensador GNL sobre isleta de hormigón [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]</i>	29
<i>Figura 29: frente del surtidor [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]</i>	29
<i>Figura 30: Repostaje en estación L-GNC móvil, km 17, M-607, Tres Cantos, Madrid</i>	37
<i>Figura 31: Características de la tubería GNL</i>	40
<i>Figura 32: Sección de la tubería GNL</i>	42
<i>Figura 33: Diagrama de Moody</i>	44
<i>Figura 34: Características de la tubería GNC</i>	46
<i>Figura 35: Sección tubería GNC</i>	47
<i>Figura 36: Factor de compresibilidad para condiciones reales Z_1: 0,97</i>	49
<i>Figura 37: Factor de compresibilidad para condiciones reales Z_2: 0,94</i>	49
<i>Figura 38: Factor de compresibilidad para condiciones reales Z: 0,9</i>	54
<i>Figura 39: Válvula de globo</i>	60
<i>Figura 40: Válvula de mariposa</i>	61
<i>Figura 41: Válvula de doble bloqueo</i>	62
<i>Figura 42: Válvula de retención</i>	62
<i>Figura 43: Válvula autorreguladora</i>	63
<i>Figura 44: Válvula de seguridad</i>	64
<i>Figura 45: Válvula de control</i>	65
<i>Figura 46: Variación del margen de contribución</i>	91
<i>Figura 47: Variación del número de camiones día</i>	91
<i>Figura 48: Variación IPC</i>	91
<i>Figura 49: Variación índice de precios del petróleo</i>	92
<i>Figura 50: Sensibilidad del TIR al número de cargas al día</i>	94
<i>Figura 51: Sensibilidad del VAN al número de cargas al día</i>	94

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Estaciones GNL/GNC existentes en España.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 2: Corredores españoles ejecución/desarrollo</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 3: especificaciones técnicas vaporizador ambiental.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 4: Especificaciones técnicas de bomba criogénica centrífuga sumergida.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 5: Características compresor</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 6: Especificaciones técnicas surtidor GNL.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 7: Potencia consumida por cada equipo de la estación.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 8: Composición del gas natural.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 9: Propiedades físicas del gas natural.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 10: Propiedades de combustión del gas natural.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 11: Planificación de la obra</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 12: Obra civil.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 13: Equipos de instalación</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 14: Montaje mecánico</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 15: Electricidad y control.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 16: Instalaciones auxiliares.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 17: Gestión de residuos</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 18: Otros gastos.....</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 19: Hipótesis base.....</i>	<i>89</i>

Resumen

Se propone la construcción de una planta satélite de gas natural anexa a una estación de servicio de carburante. El interés del proyecto se centra en el ahorro económico que supone el uso de este combustible para el transporte por carretera (hasta 50 %). Además el gas natural es, en relación al petróleo, más limpio y la relación reservas/producción es mayor. En España la infraestructura de esta tecnología es una de las mayores y mejor consolidadas de Europa.

Se ha elegido la E.S. localizada en el km 26 de la autopista A1 con sentido Burgos (San Sebastián de los Reyes, Madrid). Esta autopista es una de las principales vías de conexión entre España y el resto de Europa, resultando interesante pensando en el sector transportista.

La planta dispondrá de un tanque criogénico de 60 m³ para almacenar gas natural licuado (GNL) a una temperatura de -163 °C. Parte de éste será comprimido a 290 bar y después conducido a un vaporizador ambiental de alta presión que lo gasificará. Finalmente el gas resultante se odorizará obteniendo gas natural comprimido (GNC) que quedará preparado para su almacenaje en vasijas.

El tanque criogénico (GNL) y las botellas (GNC) se conectarán a sus respectivos surtidores para el suministro de combustible. La planta incluirá un surtidor de GNC y otro de GNL para vehículos pesados. Se realizará el montaje e instalación de los equipos y líneas necesarios para el almacenaje, manipulación y suministro de gas natural vehicular.

Abstract

This project proposes the addition and construction of a gas satellite plant to an existing fuel service station. The construction of this satellite plant focuses on making natural gas accessible as a fuel for road transportation with a primary focus on accessibility to trucks.

There are many positives to support the use of natural gas, in this project we will focus on the savings in fuel consumption (up to 50%) and the environmental advantages of using natural gas instead of oil. This type of satellite plant construction is also a viable option for the location of the existing fuel station because Spain has one of the most developed and consolidated technology infrastructures for natural gas in Europe.

The location of the proposed construction is 26 km off the A 1 motorway Burgos direction (San Sebastian de los Reyes, Madrid). This highway is the main route connecting Spain to the rest of Europe making it an interesting location when analyzing the transport carrier sector.

For the construction of the satellite plant it requires that it has a cryogenic 60 m³ tank for storing liquefied natural gas (LNG) at a temperature of -163 °C. Part of this will be compressed to 290 bar and then driven to an environmental vaporizer to gasify. The resulting gas is then odorized until it transforms into compressed natural gas (CNG) and is stored in vessels ready for use.

To supply the natural gas to consumers both the cryogenic tank (LNG) and the vessels of (CNG) are connected to their respective dispensers. The plant will have one pump for CNG and one pump for LNG, these two extra pumps will satisfy the demand of the consumer.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA
Titulación: **INGENIERÍA DE MINAS**

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y
COMBUSTIBLES

**ESTACIÓN DE SERVICIO DE GAS
NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO
PARA VEHÍCULOS**

DOCUMENTO N° 1: MEMORIA

1 Objetivo y alcance del proyecto

El objetivo de este proyecto es la construcción de una estación de servicio de GNL/GNC que suministre combustible en el kilómetro 26 de la autopista A 1 con sentido Burgos (San Sebastián de los Reyes, Madrid) para vehículos ligeros (berlinas, furgonetas, etc.) y pesados (camiones y autobuses).

El alcance de este proyecto es estimar una demanda previsible así como la elección de los equipos e instalaciones necesarias para la ejecución del mismo: tanques, vaporizadores, bombas, botellas, compresores, líneas, válvulas, etc.

Determinación del diagrama de flujo así como las características de las líneas y valvulería requerida para su funcionamiento. Planos de implantación. Estudio económico.

2 Antecedentes

El gas natural vehicular es la solución real de mayor viabilidad respecto a otras fuentes de energía renovables para el futuro inmediato del sector automovilístico. La Agencia Internacional de la Energía (AIE) estima que las reservas de gas natural han aumentado de 60 años a 250 años debido, entre otros factores, a la explotación de yacimientos de *shale gas* en Estados Unidos. Además, posee una combustión mucho más limpia que la mayoría de combustibles derivados del petróleo, y la reducción de emisiones es drástica.

De los combustibles fósiles el gas natural es el más limpio, al tiempo que se han desarrollado para su utilización final equipos y nuevas tecnologías con elevados rendimientos.

Su combustión, al igual que la del resto de combustibles fósiles produce principalmente CO₂ y vapor de agua. El motivo de ser “más limpio” se debe a su composición química. La proporción de hidrógeno/carbono es mayor que en el resto de combustibles siendo esta de 4 a 1.

-Gas natural (Metano): $H/C = 4/1 = 4$

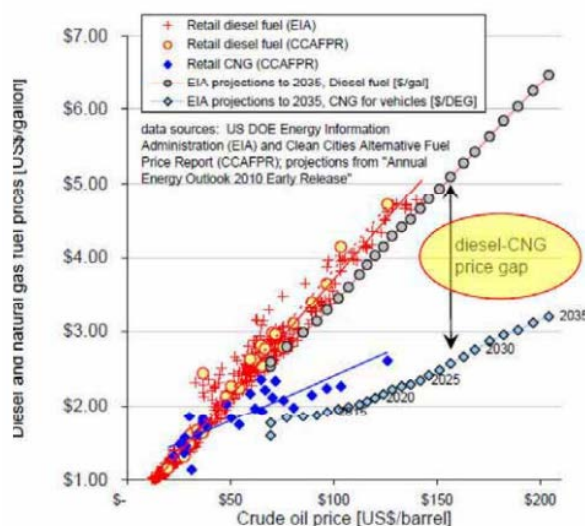
-Petróleo (Decano): $H/C = 22/10 = 2,2$

-Carbón (Coroneno): $H/C = 12/24 = 0,5$

Esto conlleva la reducción de emisiones de CO₂ entre un 25 % y 30 % respecto al petróleo, y un 40 % a 50 % respecto al carbón, por unidad de energía producida. Teniendo en cuenta las altas eficiencias de los procesos de combustión de gas natural y las avanzadas tecnologías de recuperación de calor en los mismos, las proporciones de contaminación emitidas finalmente son aún menores. Además su estado gaseoso favorece la mezcla con el aire facilitando la combustión.

El gas natural reduce las emisiones contaminantes en los siguientes valores: NO_x (>80 %), SO₂ (≈100 %), PM (>95 %) y CO (≈25 %).

Esto se refuerza al analizar las ventajas económicas que resultan de utilizar gas natural vehicular como combustible, ya que supone un ahorro de hasta un 40 % y 50 % respecto a la gasolina y el diesel respectivamente. En la **Figura 1** se muestra la diferencia de precios entre el diésel y el GNC.



Fuente: [US DOE Energy Information]

Figura 1: Diferencia de precios Diésel-GNC

2.1 GNC para vehículos ligeros

Actualmente, salvo algunos países, la infraestructura de gas natural vehicular es insuficiente, y los precios de los vehículos adaptados a este combustible son todavía muy altos como para competir en el mercado y que sea rentable su uso a gran escala. Además son muy pocas las estaciones de servicio que suministran gas natural por lo que no parece ser una solución real y viable en un futuro inmediato.

2.2 GNL para el sector transportista

El gas natural vehicular cobra mucho más sentido en el sector transportista. Estas empresas realizan rutas definidas y programadas lo que hace fácil prever y construir una red de estaciones en lugares estratégicos creando corredores por donde se va a transitar. Además, debido a la cantidad de kilómetros que realizan, el retorno de la inversión que supone emplear este tipo de tecnología es inferior a un año. Esto se consigue ya que se estima un ahorro de entre un 40 % y un 50 % de combustible utilizando GNL en sustitución al gasoil.

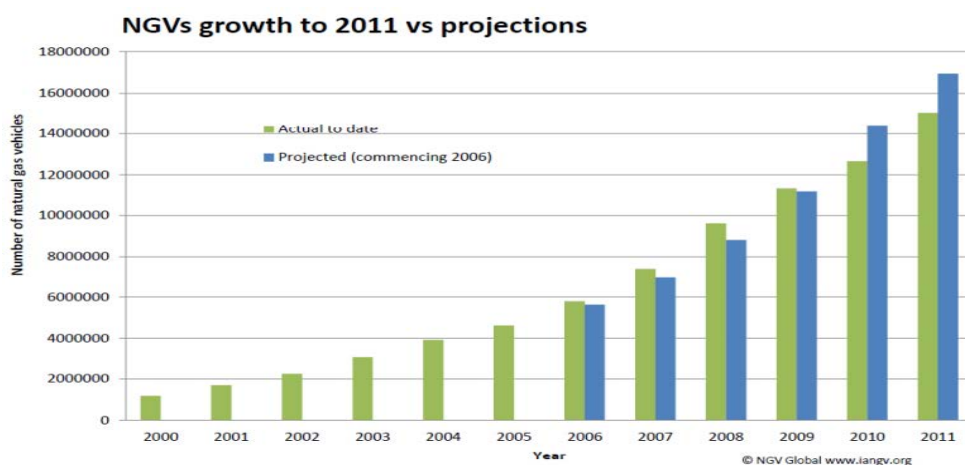
2.3 Situación de mercado mundial

Actualmente circulan en el mundo más de 16 millones de vehículos propulsados por gas natural. La región de Asia-Pacífico encabeza la lista con más de 7 millones de vehículos seguida de América Latina con casi 5 millones.

Los principales países con mayor impacto en el uso de esta tecnología son: Paquistán (3,1 M), Irán (2,9 M), Argentina (2,2 M), Brasil (1,8 M), India (1,6 M), China (1,3 M), Italia (746.470), Colombia (384.314) y Estados Unidos (112.000).

Cabe destacar que Italia, Estados Unidos y Argentina lideran el desarrollo tecnológico mundial del gas natural. En Europa, con menor impacto todavía, destaca Alemania con 95.200 vehículos, Suecia con 40.100 y Francia con 13.300.

Actualmente en España circulan 3176 vehículos adaptados de los cuales el 82 % son pesados, autobuses urbanos y camiones de RSU's. Si bien España está todavía a la cola en el uso de gas natural vehicular, se sitúa como el cuarto mayor importador de gas natural del mundo, y cuenta con una infraestructura desarrollada y consolidada con 6 plantas de regasificación, encabezando la primera posición en Europa. Por este motivo resulta una apuesta segura incentivar y construir estaciones de suministro para vehículos aprovechando la capacidad disponible de abastecimiento existente en España. El número de vehículos adaptados al consumo de gas natural se ha incrementado en los últimos 15 años, tal y como se puede observar en la **Figura 2**.



Fuente: [www.iangv.org]

Figura 2: Proyección de y situación real de la producción de vehículos adaptados al consumo de gas natural vehicular

2.4 Marco Europeo

2.4.1 Proyecto *Blue Corridors*

El objetivo de este proyecto es establecer el GNL como alternativa real para el transporte de media y larga distancia, con el fin de complementar al diesel y sustituirlo en el futuro próximo. Hasta ahora, los vehículos pesados que utilizaban esta tecnología eran autobuses urbanos y camiones de basura. La equivalencia en autonomía del diesel respecto al GNC es de 1/5. Esto, previene el uso de GNC por su cantidad de volumen en el sector transportista.

El GNL por el contrario, viéndose reducido su volumen 600 veces aproximadamente respecto a su estado gaseoso adquiere ventaja gracias a su alto contenido energético. Se necesitan 1,8 L de GNL por cada litro de gasoil. Un camión de 40 t con tecnología diesel necesita un tanque de entre 400 L y 500 L para recorrer 1.000 km. El depósito equivalente de GNL sería de 700 L a 900 L, solución, en un principio factible mediante el acoplamiento de dos tanques en los laterales del chasis del camión. Por el momento, España y los Países Bajos son los países de mayor infraestructura y utilización de GNL de Europa.

En el proyecto *Blue Corridors* se definen 4 corredores de suministro en Europa y que cubren las siguientes áreas (**Figura 3**): Atlántico, Mediterráneo, eje Norte-Sur y eje Este-Oeste.



Fuente: [lngbc.eu]

Figura 3: Corredores europeos de suministro de GNL/GNC: línea verde (Atlántico), línea roja (Mediterráneo), línea amarilla (Oeste a Este) y línea azul (Norte a Sur).

La finalidad de éste proyecto es la construcción de 14 estaciones permanentes y móviles a lo largo de estos corredores, consiguiendo en un futuro una flota de 100 camiones.

El coste del proyecto es de 14,33 M € y está financiado por el *Seventh Framework Program* de la Unión Europea con 7,96 M €. Participan 27 socios de 11 países en este proyecto. La relación de empresas colaboradoras se muestra a continuación en la **Figura 4**.

Project Partners:



Fuente: [lngbc.eu]

Figura 4: Socios colaboradores del Proyecto Blue Corridors

2.5 Marco Español

España se sitúa como el cuarto mayor importador de GNL del mundo. Tiene actualmente seis plantas de regasificación de GNL en funcionamiento. Su situación geográfica en el Mediterráneo le aporta flexibilidad permitiendo recibir la mitad del gas natural de Argelia, y el resto de otros países como Nigeria y Qatar. Como resultado, España es independiente de Rusia en importación de gas natural.

Existe una infraestructura muy sofisticada, con una gran capacidad de licuefacción y un sistema de distribución de los más eficientes y consolidados en Europa.

2.5.1 Marco legislativo Español

El nuevo marco en el que nos encontramos actualmente en España, está avanzando en la liberalización del sector de hidrocarburos, con una regularización más abierta.

La ley 34/1998, de 7 de octubre del sector de hidrocarburos se ha modificado por última vez el 17 de octubre de 2014. Estas modificaciones aportan una mayor facilidad y flexibilidad a la hora de explorar, investigar o explotar hidrocarburos, así como una regulación de mayor

liberalización para el refino, transporte, almacenamiento, distribución y comercialización de los mismos suprimiendo preexistentes autorizaciones para el ejercicio de estas actividades.

Todo este contexto en que nos encontramos a nivel mundial, europeo y nacional nos ofrece un posicionamiento que debemos aprovechar para promover la utilización de este combustible en el sector automovilístico.

2.5.2-Proyecto MidCat

SEDIGAS, la Asociación Española del Gas, lleva tiempo intentando promover un proyecto de construcción de un gasoducto de 109 km que una España y Francia. De esta manera, España podría exportar al resto del continente 14 bcm de gas natural al año.

En la “Declaración de Madrid”, cumbre que tuvo lugar el 5 de marzo de 2015, los presidentes de gobierno de España, Mariano Rajoy, Francia, François Hollande, y Portugal, Pedro Passos Coelho, junto al presidente de la comisión Europea, Jean Claude Juncker, firmaron un pacto para impulsar la interconexión gasista en Europa. El objetivo es integrar físicamente los mercados energéticos en Europa para diversificar las fuentes de suministro, poner fin al aislamiento energético que tienen algunos países y reducir la dependencia de suministro de zonas inestables en el mundo. De esta forma se va a reanudar el estudio del proyecto MidCat que pretende unir España (por Cataluña) y el sur de Francia. Con respecto a la financiación del mismo, optará a las ayudas recogidas en el “Plan Juncker” (plan promovido por la Comisión Europea para movilizar 300 M€ en inversiones públicas y privadas) y se espera también contar con el apoyo del Banco Europeo de Inversiones (BEI).

2.5.3-Proyecto GARnet

En España el proyecto GARnet (*Gas as an Alternative for Road Transport*) contempla la construcción de 7 estaciones de GNL/GNC, 4 fijas y 3 móviles, promoviendo el uso de esta tecnología enfocada fundamentalmente al sector transportista. En la **Figura 5** se puede observar un ejemplo de estación fija, y en la **Figura 6** un ejemplo de estación móvil.

El presupuesto del proyecto es de 4 M € y está cofinanciado con 2 M € por la Red de Transportes Transeuropea (TEN-T) de la Unión Europea. La empresa transportista HAM compró en el año 2000 a Estados Unidos 10 camiones con tecnología GNL lo que les hizo líderes en el uso de esta tecnología para el transporte europeo.



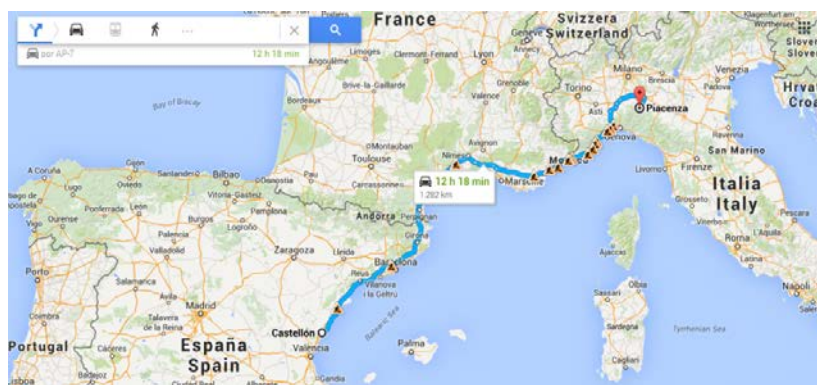
Figura 5: Estación L-GNC permanente, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha



Figura 6: Estación L-GNC móvil, km 17, M-607, Tres Cantos, Madrid

2.5.4-Primer trayecto realizado

Como se muestra en la **Figura 7** la primera ruta que se realizó a través del proyecto *Blue Corridors* fue de Castellón (España) a Piacenza (Italia), por la empresa de transportes española MONFORT, utilizando un camión de tecnología Dual-Fuel, demostrando la eficacia del uso de GNL en el corredor del Mediterráneo. Fue sin duda un hito importante. En total se hicieron 3000 km utilizando GNL resultando la experiencia muy satisfactoria. España es el país pionero en el uso de GNL en Europa, liderando 16 estaciones satélite de GNV actualmente (**Tabla 1**).



Fuente: [Google Maps]

Figura 7: Primer trayecto realizado por el proyecto Blue Corridors (Castellón-Piacenza)

2.5.5 Estaciones L-GNC y corredores nacionales

España cuenta con 16 estaciones de GNL/GNC actualmente repartidas en puntos estratégicos de la península. A continuación se muestra la relación de estaciones en la **Tabla 1**.

Actualmente, empresas como Lidl, Mercadona, Leche Pascual, Inditex, Acotral, DHL o Monfort están apostando por el uso de esta tecnología para llevar a cabo el transporte de su mercancía. De esta forma se está abriendo cada vez más mercado e incentivando el uso de GNL en el sector transportista ya que el ahorro que supone es muy significativo.

Además, empresas como Volvo, Renault, Mercedes, Iveco, MAN, Scania, Hardstaff, Clean Air Power o Westport están asociadas a través del proyecto *Blue-Corridors* para impulsar el desarrollo tecnológico en el uso de GNL vehicular para sector transporte.

Tabla 1: Estaciones GNL/GNC existentes en España

1	Abrera, Barcelona	GNL/GNC
2	Castellón de la Plana, Castellón	GNL/GNC
3	Torremocha Campo, Guadalajara	GNL/GNC
4	Olaberria, Guipuzcoa	GNL/GNC
5	Lleida, Lleida	GNL/GNC
6	Tarragona	GNL/GNC
7	Alovera, Guadalajara	GNL/GNC
8	Vitoria, Álava	GNL/GNC
9	Valencia	GNL/GNC
10	San Isidro, Alicante	GNL/GNC
11	Riba Roja del Turia, Valencia	GNL/GNC
12	Zaragoza	GNL/GNC
13	Rivas, Madrid	GNL/GNC
14	Montilla del Palancar, Cuenca	GNL/GNC
15	Sevilla	GNL/GNC
16	Málaga	GNL/GNC

Al igual que existen corredores que recorren Europa se están desarrollando en España los siguientes corredores estratégicos que se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2: Corredores españoles ejecución/desarrollo

Corredores en fase de ejecución	Madrid - Barcelona
	Mediterráneo
	Madrid - Valencia
	Madrid - Galicia
	Madrid - Sevilla
Corredores en fase de desarrollo	Santander - País Vasco - Irún
	Barcelona – Irún
	Conexión con Portugal

2.6 Tecnologías de camiones GNL

Las dos tecnologías utilizadas en los camiones de GNL las lideran Volvo e Iveco en Europa. Volvo ha apostado por la utilización de tecnología Dual-Fuel de ciclo diesel utilizando GNL y gasoil como combustible, empleando diesel para la ignición. Por su parte, Iveco ha desarrollado un camión con tecnología dedicada de ciclo Otto operando exclusivamente con gas natural.

2.6.1 Iveco Stralis LNG. Mono-Fuel Technology. 330 HP, 1300 Nm

Este camión está propulsado por un motor de 330 CV, tiene un depósito de 540 L de GNL saturado y 4x70 L de GNC, garantizando una autonomía de 750 km para distancias medias y largas. Su consumo se estima entre 27 kg y 35 kg cada 100 km. A continuación puede observarse en la **Figura 8** el modelo de 2104 Euro V.

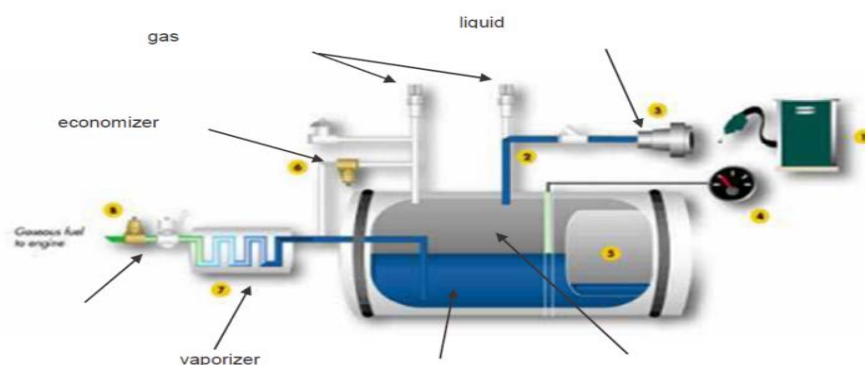


Figura 8: Camión Iveco Stralis LNG repostando GNL [Estación L-GNC móvil, km 17, M-607, Tres Cantos, Madrid]

En este tipo de camiones es muy importante decidir la presión de trabajo del motor. Considerando las propiedades del GNL saturado, el objetivo es conseguir la menor presión de almacenamiento para obtener una mayor densidad del gas a fin de conseguir un rendimiento mayor. Finalmente se ha conseguido una presión en el tanque de 8,5 bar (máx. 14 bar) reduciendo la presión del motor de 9 bar a 7 bar.

Otro punto importante es definir el funcionamiento de las diferentes partes del tanque, la boquilla de llenado, el vaporizador y el regulador de presión. Las partes del tanque se pueden ver en el esquema de la **Figura 9**.

Entre los proveedores disponibles de tanques de GNL se escogió *Chart* (vacío + multicapa). La mejor configuración para almacenar el GNL sería acoplar dos tanques de 510 L, uno a cada lado del chasis, como se puede ver en el ejemplo de la **Figura 10**. Esto de momento no es posible debido al diseño de fábrica del camión. De esta forma en el otro lado del chasis se acoplan 4 cilindros de 70 L de capacidad de GNC cada uno.



Fuente: [Ingbc.eu]

Figura 9: Esquema tanque GNL – Iveco Stralis

Cuando lo demanda el motor, el líquido es bombeado por presión hasta el vaporizador, donde se calienta a través del sistema de refrigeración del motor, pasando a fase gas para el ajuste de la presión del mismo y posteriormente se quema de igual forma que en un motor de CNG. Debido a la transferencia de calor del exterior al interior del tanque debida al efecto *boil-off*, el economizador inyecta este gas al vaporizador cuando sube la presión que sirve a su vez de alimentación al motor. El economizador se encarga de mantener la presión y temperaturas de diseño.



Figura 10: Ubicación tanque GNL, Iveco Stralis (flecha) [Estación L-GNC móvil, km 17, M-607, Tres Cantos, Madrid]

Se han vendido 15 unidades en 2012 y 87 en 2013 del camión Iveco Stralis Euro V. En la actualidad circulan 200 camiones en Europa, fundamentalmente en los Países Bajos y España. La versión Euro VI de este camión está ya a la venta desde abril de 2014.

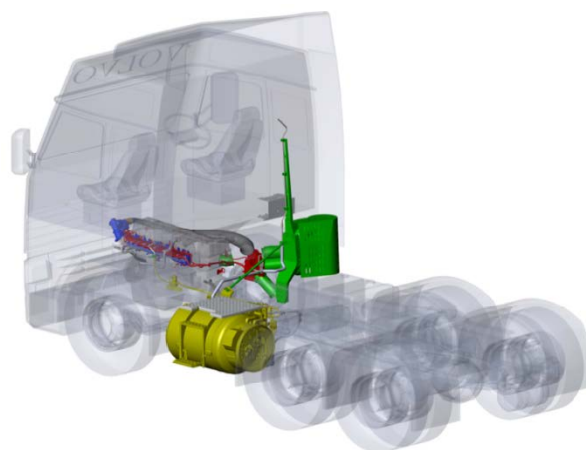
2.6.2-Volvo FM Methane Diesel Truck. Dual Fuel Technology. 460 HP, 2300 Nm

Este camión, que se puede ver en la **Figura 11**, es muy versátil ya que puede operar únicamente con gasoil en caso de que fuera necesario. A su vez, se puede observar en la **Figura 12** la ubicación del tanque de GNL en el chasis.



Fuente: [lngbc.eu]

Figura 11: Volvo FM Methane Diesel



Fuente: [lngbc.eu]

Figura 12: Ubicación del tanque GNL

El tanque de GNL contiene 280 L o 540 L y está situado en la parte izquierda del chasis como puede apreciarse en la **Figura 13** mientras que los tanques de gasoil con capacidades de 150 L, 240 L y 330 L se sitúan en la parte derecha del chasis. El camión necesita gasoil al menos para la ignición ya que el motor utiliza tecnología de ciclo diesel.

La presión de operación normal del tanque de GNL es de 10 bar, y cuando el gas no se está utilizando por el economizador la presión asciende entre 1 bar y 2 bar al día. En condiciones normales, esta presión se corrige con un regulador de presión. La inyección de líquido y gas a través de los inyectores en el motor se realiza de forma similar al caso del camión Iveco, explicado anteriormente. Cuando el sistema Methane-Diesel deja de funcionar, las válvulas se cierran y los inyectores de gas dejan de funcionar. De esta forma se consigue que el sistema de gas se aisle del sistema de gasoil.



Fuente: [lngbc.eu]

Figura 13: tanque GNL, Volvo FM Methane Diesel

3 Emplazamiento

La estación de servicio que se pretende proyectar está situada dentro de una parcela en el término municipal de San Sebastián de los Reyes (Madrid), y se accede por la salida del kilómetro 26 de la autopista A 1 con sentido Burgos. Cuenta con una superficie gráfica de 13.793,48 m² y su referencia catastral es: 11559 14 VK5915N.

Se escoge este lugar ya que esta autopista representa una de las principales vías de conexión entre España y el resto de Europa, resultando muy interesante para el sector transportista que la transitará. Se sitúa además dentro del corredor (norte-sur) del proyecto *Blue Corridors*.

Actualmente, en la parcela contigua se encuentra una estación GALP de venta de carburante, un tren de lavado y una máquina de auto-lavado.

La estación de GNL y GNC se presenta como una propuesta de ampliación de la gasolinera, con el fin de ampliar el negocio abasteciendo de GNL y GNC a vehículos ligeros y pesados.

3.1 Ubicación

Dirección: Plaza Venta Pesadilla 1BB 0003 A

La estación de suministro de GNC y GNL se ubicará en:

- Km 26 de la autopista A 1 con sentido Burgos, CP: 28706, San Sebastián de los Reyes (Madrid).

- Término Municipal de San Sebastián de los Reyes (Madrid)

3.2 Parcela

La parcela tiene forma trapezoidal y sus terrenos lindan con:

- Al norte con Grupo Farmasierra.

- Al sur con La Quinta del Jarama.

-Al este con gasolinera GALP y autopista A 1

-Al oeste con Golf La Moraleja y río Jarama

3.3 Superficies

La superficie afectada por la estación de suministro de GNC y GNL es de unos 2 413,41 m², gran parte de los cuales están destinados a la circulación de vehículos. La planta va a incorporar un cubeto con una superficie de 110 m² donde se van a ubicar todos los equipos de la instalación así como un dispensador de GNL contiguo al mismo.

Se va a construir también una caseta de hormigón prefabricado de 2,50 m x 2,50 m x 3 m donde se van a situar los cuadros de potencia y los equipos de control, tal y como puede observarse en los planos. Su superficie es de 6,25 m². El uso de esta caseta será exclusivo para las personas encargadas del mantenimiento de la estación de servicio.

Por último se construye una superficie de 3,43 m x 1,5 m donde se va a ubicar el dispensador de GNC.

3.4 Condiciones urbanísticas

La estación proyectada se sitúa en una parcela perteneciente al término municipal de San Sebastián de los Reyes y tiene una calificación de área predominantemente terciaria-dotacional programada por el PGOU'85 ordenada, urbanizada y equidistribuida en el desarrollo del Plan. Recibe la clasificación de Suelo Urbano Consolidado. Atendiendo al Plan General de Ordenación Urbana de San Sebastián de los Reyes al uso terciario se le asignan los siguientes usos: Oficina, Comercio, Residencial Público, Restauración, Espectáculo y Estación de servicio.

Por Estación de Servicio se entiende la actividad relativa al suministro de carburantes para vehículos y al suministro de lubricantes y accesorios, incluso con servicios a los viajeros como aseos, tienda de urgencia o restauración ligera. Se justifica de esta manera que en la parcela elegida de uso terciario-dotacional puede construirse una planta satélite de GNL y GNC.

4 Descripción de la instalación

4.1 Proceso productivo

El objetivo de la instalación es el suministro de GNL y GNC a distintos tipos de vehículos ligeros y pesados a diferentes presiones y un esquema de su funcionamiento puede observarse en la **Figura 14**.

4.1.1 Obtención GNL

La planta dispone de un tanque de 60 m³ que almacena GNL que puede ser suministrado directamente a camiones o puede ser comprimido y gasificado para suministro de GNC. El GNL es transportado hasta la planta por un camión cisterna y descargado en el tanque de almacenamiento criogénico. El impulso del GNL desde el camión cisterna al tanque se realiza mediante una bomba centrífuga que incorpora el camión cisterna.

Esta estación permite el suministro de GNL a diferentes presiones lo que da flexibilidad para que puedan repostar diferentes tipos de camiones, mediante un acondicionador que permite la saturación de GNL antes de su suministro entre el *skid* de bombas y el dispensador. Una bomba criogénica centrífuga sumergida se encarga de impulsar y hacer circular el GNL desde el tanque hasta el dispensador cuando es requerido.

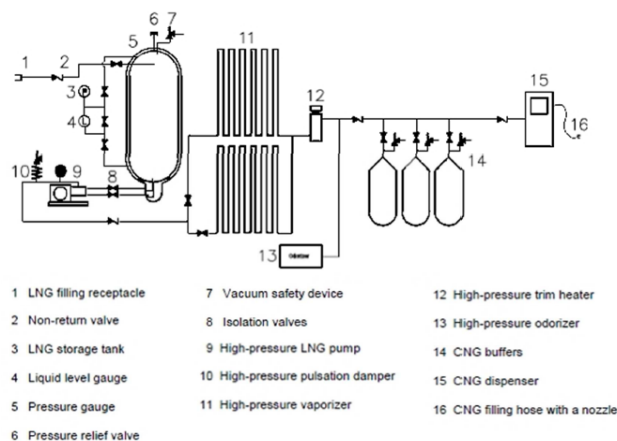
4.1.2- Obtención GNC

La planta lleva incorporada una bomba criogénica de pistones que se encarga de comprimir parte del GNL a 350 bar. Puesto que los líquidos son menos compresibles que los gases, resulta más eficiente comprimir líquido y se requiere menos energía. A modo de ejemplo:

- una bomba de pistones de 22 kW es capaz de suministrar 700 m³(n)/h a 350 bar.
- conseguir el mismo resultado comprimiendo gas, requiere un compresor de 100 kW.

Una vez que el líquido es comprimido se conduce al vaporizador ambiental de alta presión donde se gasifica. Después, el gas se odoriza (zona de alta presión), se almacena en vasijas cilíndricas a alta presión y queda listo para suministro de GNC. Otra forma de obtención de GNC es conducir el GNL directamente del tanque de almacenamiento al vaporizador ambiental, odorizarlo (zona de baja presión) y posteriormente comprimirlo mediante un compresor estándar. Como se ha explicado antes, esta opción supone un gasto energético

mayor y por tanto no se suele valorar. Habrá que tener en cuenta también que una parte de GNL va a gasificar dentro del tanque debido al efecto *boil-off* producido por la transferencia de calor al interior del mismo. Esto hace que la presión en el tanque aumente y sea necesaria su evacuación. Este gas se aprovecha conduciéndolo al depósito de *boil-off*. Posteriormente se va a odorizar (zona de baja presión) y comprimir (compresor estándar) y se almacenará junto al resto de GNC en las vasijas de almacenamiento.



Fuente: [lngbc.eu]

Figura 14: Esquema funcionamiento instalación GNC a partir de GNL

4.1.3-Suministro de GNL

Se parte del GNL almacenado entre 15 bar a temperatura criogénica de -163 C. Éste se va a conducir por diferencia de presión o mediante bomba centrífuga hacia el surtidor. Después se procede al suministro de GNL mediante dispensador entre 5 bar y 18 bar, dependiendo de las necesidades del camión.

4.1.4-Suministro de GNC

Se parte primero del GNL almacenado en el depósito criogénico a 15 bar a temperatura criogénica de -163 C. Después se comprime el líquido mediante una bomba de pistones a 350 bar para después gasificarlo mediante un vaporizador ambiental.

Por último, se almacena a 290 bar en dos *racks* de 15 botellas interconectadas de 80 L cada una para posteriormente suministrarlo a 200 bar y 180 bar mediante dispensador a camiones.

4.2-Componentes de la instalación

4.2.1-Depósito criogénico de GNL

Como se muestra en la **Figura 15**, la instalación cuenta con un tanque de 60 m³ cuyo volumen geométrico es de 59 990 L con una capacidad útil del 90 %: 53 991 L. La capacidad de almacenaje va a depender de las propiedades termodinámicas del líquido-gas GNL así como de la variación de la densidad del mismo.

El llenado del tanque se limita a un 95 %, dejando un margen de seguridad del 5 % para los aumentos de presión, que provocan el efecto *boil-off* producido por transferencia de calor al interior del tanque. De la misma manera, al extraer el GNL, tiene que quedar un 5 % remanente siempre en el tanque para no perder el frío súbitamente cuando del depósito ya no puede extraerse líquido. El tanque está diseñado para trabajar a una presión de servicio de 15 bar. El objetivo es lograr que el GNL pueda conservarse en condiciones criogénicas reduciendo la entrada de calor del exterior a valores muy bajos consiguiéndolo gracias al sistema de aislamiento que incorpora de vacío y perlita. El depósito interior está compuesto de acero inoxidable mientras que el exterior de acero al carbono.

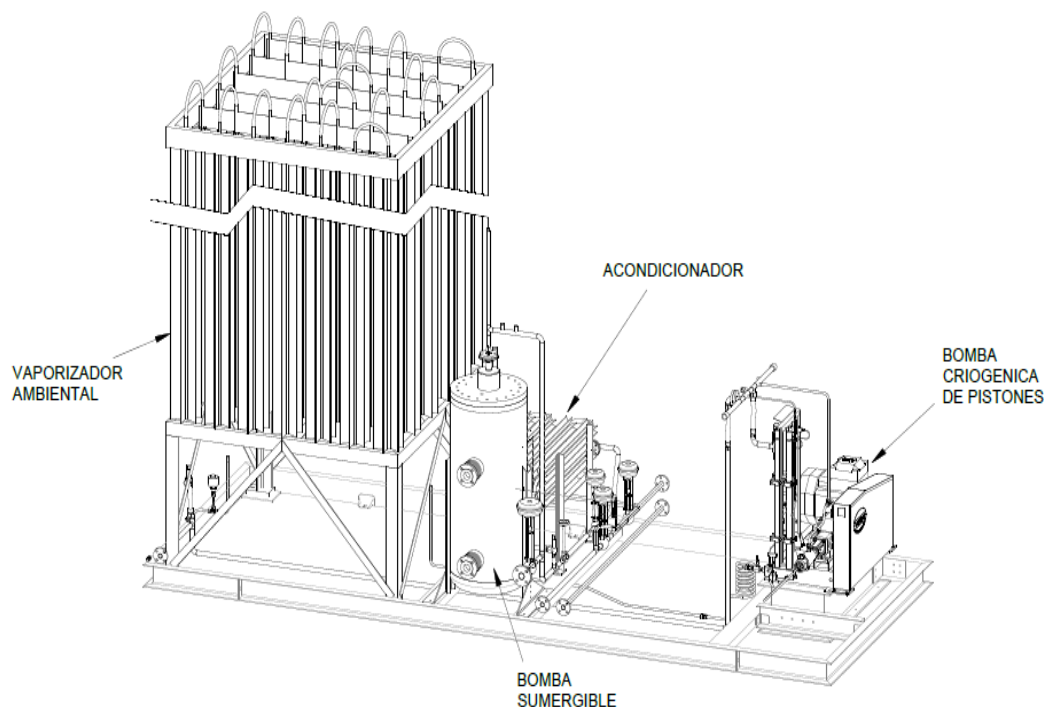
En la práctica siempre va a existir transferencia de calor hacia el interior. Si la temperatura de GNL aumenta y llega a la de vaporización, éste empezará a gasificar lentamente (*boil-off*). Como consecuencia, la presión en el tanque va aumentando a medida que gasifica más GNL lo que haría saltar las válvulas de seguridad para aliviar el gas. Esto se evita evacuando el gas hacia un tanque de *boil-off* cuando el depósito de GNL se encuentra cerca de la presión de tara. De la misma manera, cuando el tanque de *boil-off* se empieza a llenar, un compresor lo vacía llevando el gas comprimido hacia las botellas de almacenamiento.



Figura 15: Depósito criogénico GNL de 60 m³ [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]

4.2.2-Skid de GNL

El *skid* de GNL delimita y soporta a través de una bancada metálica los equipos necesarios para tratar el GNL. Se ubica al aire libre encima de una bancada de hormigón dentro del cubeto de seguridad. En la **Figura 16** se puede ver un esquema de un *skid* GNL.



Fuente: [lngbc.eu]

Figura 16: Esquema de skid GNL

Vaporizador ambiental

Se va a utilizar un vaporizador atmosférico de alta presión (**Figura 17**) por lo que se tendrá en cuenta el incremento de temperatura a causa del hielo que puede formarse sobre las aletas.

Primero se produce la evaporación ambiental a 350 bar consiguiendo una temperatura de entre 5 °C y 10 °C por debajo de la temperatura ambiente. Después, un intercambiador de calor se encarga de que la temperatura de emisión a la salida del vaporizador no esté por debajo de la temperatura de disparo de seguridad de baja temperatura.

Las tuberías tienen un comportamiento flexible para así evitar dilataciones y contracciones provocadas por los cambios de temperatura. El equipo tiene incorporada una válvula de seguridad criogénica. Las especificaciones técnicas del vaporizador se numeran a continuación en la **Tabla 3**.



Figura 17: Vista de vaporizador ambiental vertical de alta presión [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]

Tabla 3: especificaciones técnicas vaporizador ambiental

Fabricante	Cryonorm
Modelo	CNHP 7 X 6
Caudal nominal	875 m ³ (n)/h
Presión de servicio	0 bar a 420 bar
Presión de prueba	601 bar
Tubería	AISI 304 L Ø 16 mm x 2,5 mm

Fuente: [cryonorm.com]

Vaporizador depósito (PPR)

Para regular y mantener la presión de servicio de 15 bar en el interior del depósito, el equipo extrae GNL del interior del depósito, lo vaporiza y lo introduce de nuevo en la parte gaseosa del tanque. El circuito PPR del tanque (**Figura 18**) permite mantener la presión en el interior del depósito cuando su valor desciende por debajo del valor de consigna.



Figura 18: Vista del vaporizador PPR [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]

Acondicionador línea de GNL

Pequeño vaporizador que se incorpora entre el tanque de GNL y el dispensador de GNL que va a servir para acondicionar el producto cuando sea necesario ya que cada camión trabaja a una temperatura de suministro diferente. Una vista del acondicionador se puede observar en la **Figura 19**.



Figura 19: Vista del acondicionador [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]

Bomba criogénica de pistones

La bomba de pistones que podemos observar en la **Figura 20** tiene como función principal comprimir el GNL a 350 bar aproximadamente e impulsarlo al vaporizador ambiental de alta presión. Su funcionamiento se inicia cuando disminuye el nivel de GNC almacenado en las botellas, y se regula automáticamente mediante un *software* en función de las consignas de temperatura y presión que se hayan prefijado. De esta forma el impulso de GNL (previo paso por el vaporizador) a las botellas de almacenamiento se lleva a cabo cuando la presión en las mismas es menor a la presión mínima de consigna.



Figura 20: Bomba criogénica de pistones. Modelo: VT-140/35 TW 6,5 de Vanzetti (30 kW de potencia) [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]

Bomba criogénica centrífuga sumergida

El GNL va a ser bombeado a través de esta bomba que se muestra en la **Figura 21** para la recirculación del mismo. Se encarga principalmente de impulsar el líquido desde el tanque hasta el dispensador de GNL. Dicha bomba se sitúa totalmente sumergida en un tanque y herméticamente encapsulada. A su vez, se puede observar las especificaciones técnicas de la bomba en la **Tabla 4**.



Fuente: [www.vanzettiengineering.com]

Figura 21: Vista de bomba criogénica centrífuga sumergida

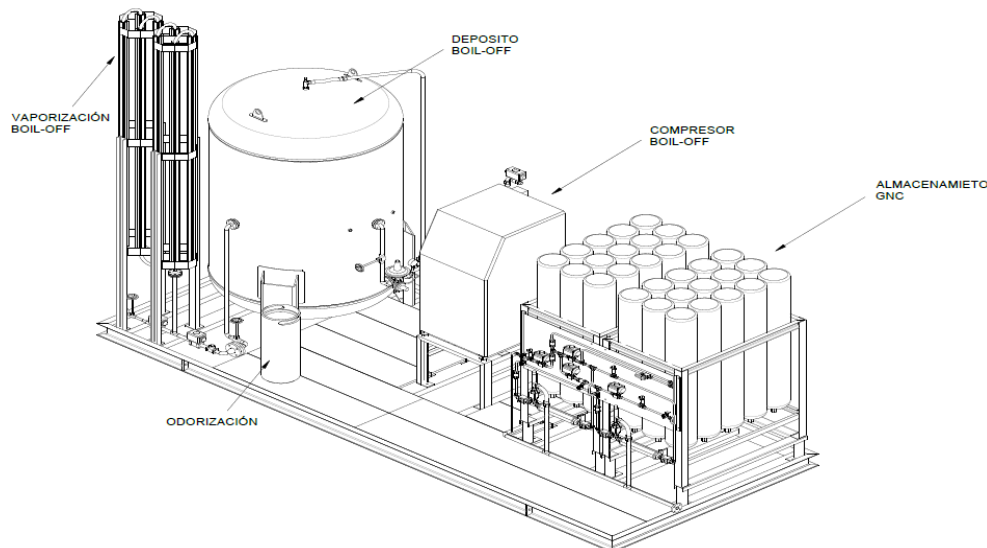
Tabla 4: Especificaciones técnicas de bomba criogénica centrífuga sumergida.

Fabricante	Vanzetti
Modelo	ARTIKA 2 x 160
Fluido	GNL
Etapas	2
Caudal máximo	200 l/min
Presión diferencial	11 bar
Presión máx.de entrada	25 bar
NPSHr	0,13 bar
Motor eléctrico	13 kW (2 polos)
Alimentación eléctrica	400 V – 104/3 Hz

Fuente: [www.vanzettiengineering.com]

4.2.3-Skid de GNC y boil-off

El *skid* de GNC y *boil-off* que se muestra en la **Figura 22** delimita y soporta a través de una bancada metálica todos los equipos necesarios para tratar el GNC antes de su suministro en el surtidor. Esta bancada estará situada dentro del cubeto de seguridad. Los equipos de vaporización, compresor, odorización y almacenamiento de GNC, disponen de ventilación natural al situarse al aire libre.



Fuente: [Ingbc.eu]

Figura 22: Esquema de un skid GNC y boil-off

Almacenamiento de GNC

La unidad de almacenamiento como se puede apreciar en la **Figura 23** incorpora 2 packs de 15 botellas de 80 L que dan lugar a 2.400 L de almacenaje de GNC a 290 bar. El almacenaje de GNC es de tipo vertical. Los cilindros están interconectados con tuberías de acero inoxidable y cuentan con sus respectivas válvulas de cierre con los dispositivos de seguridad correspondientes. El conjunto está debidamente asegurado sobre un bastidor de acero, de manera que los cilindros no tengan contacto con el suelo evitándose focos corrosivos.

Este almacenamiento está equipado con válvulas de alta presión que aíslan los almacenajes del suministro a los surtidores. Cuenta además con válvulas de seguridad, exceso de flujo y bloqueo manual además de un manómetro de presión con rango de 0 bar a 430 bar y un presostato para cada pack.



Figura 23: Racks de botellas de almacenamiento GNC [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]

Sistema *boil-off*

Dentro del *skid* de GNC se encuentra la línea del sistema de recuperación de *boil-off* con su vaporizador ambiental (fijo a la misma estructura), el depósito de *boil-off* que se muestra en la **Figura 24**, el sistema de odorización representado en la **Figura 25**, los equipos de regulación y medida y el compresor de *boil-off* que se muestra junto a sus especificaciones técnicas en la **Tabla 5**.

La transferencia de calor en el tanque de GNL hace que se forme gas en el mismo aumentando considerablemente la presión. Este gas ha de ser expulsado enviándose al depósito de *boil-off*, donde después de ser llenando se comprimirá a 290 bar y será conducido posteriormente a las botellas de almacenamiento de GNC.



Figura 24: Depósito almacenamiento *boil-off* [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]

Tabla 5: Características compresor

MCH20-24		TECH SPECS	
			MCH24
	CHARGING RATE:		400 L / min 24 m³/h
	FILLING TIME TANK 80 Liters (Kg 11.5) 0/200 Bar:		37 min
	WORKING PRESSURE:	200 Bar - 2900 Psi or 250 Bar - 3800 Psi	
	DRIVEN BY:	three-phase electric motor (Atex certified Zone 2)	
	POWER:	9 Kw (230/440V-60Hz) (230/400V-50Hz)	
	DIMENSIONS:	height 179 cm / 70" width 82 cm / 32" depth 133 cm / 52"	
	DRY WEIGHT:	420 Kg / 925 lbs	
	NOISE:	70 dB (at 1 m distance)	
	Nº STAGES AND CYLINDERS:	4	
	LUBRICANT:	Coltri Oil CE 750	
	FRAME:	powder coated steel	
	OIL/MOISTURE SEPARATORS:	3	
	FILTRATION:	2 hyperfilter	
	SAFETY PRESSURE SWITCH	3 interstage, last stage	
	INTERSTAGE COOLERS AND AFTER COOLERS:	stainless steel	

Fuente: [www.coltrisub.it]

Sistema de odorización

El gas natural es inodoro y por este motivo precisa ser odorizado adecuadamente para que pueda ser detectado inmediatamente en caso de fuga. Para ello se utiliza THT (tetrahidrotiofeno), un líquido incoloro con un olor característico que es inflamable y su vapor es más denso que el aire. Es peligroso para el medio ambiente y por tanto no debe entrar en contacto con el agua. En esta planta no se utiliza agua ni tampoco se dispone de ninguna toma ni desagüe.

El proceso de odorización puede hacerse a la entrada del depósito de *boil-off* mediante contacto con el gas (zona de baja presión) o entre el vaporizador y las botellas de almacenamiento a través de una bomba que inyectará el mismo a su paso por la línea (zona de alta presión)



Figura 25: Vista del odorizador en la instalación [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]

Vaporizador depósito de *boil-off*

Este vaporizador que se muestra en la **Figura 26** se encarga de gasificar una parte de GNL e introducirlo en el depósito de *boil-off* cuando sea requerido. El gas venteado del tanque de GNL al depósito de *boil-off* está compuesto por la parte más ligera del gas natural y por este motivo se inyecta cuando sea necesario GNL a través de este vaporizador en el depósito de *boil-off* para equilibrar la composición del gas si se da este caso excepcional.



Figura 26: Vista del vaporizador depósito de *boil-off* [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]

4.2.4 Dispensador de GNC

El dispensador se va a situar sobre una isleta de hormigón elevada sobre la pista de circulación, para así protegerlo de impactos de vehículos. El surtidor se muestra en la **Figura 27**. El surtidor consta de dos mangueras con bocas de carga NGV-1. El transductor de alta presión permite que la carga del depósito pueda hacerse a 200 bar. Cuenta también con conectores para recuperar los vapores. El sistema de anclaje del surtidor es de fácil instalación

y sus conexiones al sistema de alta presión de gas se efectúan por medio de tuberías de acero inoxidable con acoplamientos de doble virola de compresión. La instalación eléctrica y las tuberías de gas irán enterradas hasta sus correspondientes arquetas.



Figura 27: Surtidor de GNC [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]

El dispensador dispone de un medidor másico robusto ante variaciones de temperatura y/o presión del gas, de forma que no existan desviaciones en la medición ni a favor ni en contra del usuario o la estación. Además presenta un sistema de seguridad que limita el caudal máximo con el que se puede asegurar el buen funcionamiento y bloqueo en caso de emergencia.

4.2.5 Dispensador de GNL

El dispensador suministra GNL a una temperatura de entre $-140\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a una presión entre 5 bar y 18 bar. Las características del emplazamiento y sistema de anclaje del dispensador de GNL son equivalentes al de GNC, descritos anteriormente. A continuación se muestra una vista general del surtidor en la **Figura 28**.

Este dispensador cuenta con dos mangueras, una para suministrar líquido (carga) y otra para el gas de recuperación (retorno) (**Figura 29**).

La boca instalada en la manguera de carga es de DN-25 para GNL y DN-15 para la manguera de recuperación de venteos. Ambas tendrán doble capa con aislamiento al vacío intermedio. El dispensador incorpora un medidor másico de ½” del tipo Coriolis de Micro Motion. Las especificaciones técnicas del surtidor se muestran en la **Tabla 6**.



Figura 28: Dispensador GNL sobre isleta de hormigón [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]



Figura 29: frente del surtidor [Estación L-GNC, km 48, A2, Guadalajara, Castilla la Mancha]

Tabla 6: Especificaciones técnicas surtidor GNL

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SURTIDOR DE GNL	
Marca	INDOX/CETIL
Modelo	LNG 1H
Nº boquereles	1 manguera para el suministro de GNL JC Carter 1 manguera para recuperación de gas Macrotech DN15
Sistema de medición	1 Contador Coriolis Micro Motion de ½” en la línea de carga
Manguera	Formada por dos capas con aislamiento intermedio de vacío
Suministro eléctrico	220 VAC, 50Hz
Dimensiones	Ancho:500 mm largo:1250 mm alto:1580
Tubería y recorrería	Recorrería: Swagelok/Parker/Hy-Lok Tubería: Swagelok/Parker/Hy-Lok

Fuente: [www.indox.com]

En el surtidor se encuentra un *display* con indicadores de inicio y finalización del repostaje, un botón para realizar la carga y para seguridad, otro que permita despresurizar el tanque del vehículo y otro pulsador de seguridad de paro de emergencia. La instalación permite que el dispensador reconozca automáticamente el tipo de vehículo que va a repostar y de esta forma pueda cargar los distintos vehículos con sus presiones requeridas, hasta 18 bar.

4.2.6 Líneas de GNC

La línea que conduce el GNC está compuesta de *tubing* de acero inoxidable con un diámetro exterior de 16,0 mm y 2,0 mm de espesor. El *tubing* se une mediante racores de acero al carbono *Parker* o *Swagelok Triple Lok*, acorde a las presiones requeridas.

Las ramificaciones a los dispensadores se compondrán de acero inoxidable de 12,7 mm x 1,25 mm, con accesorios *Parker* o *Swagelok Triple Lok* para su conexión. Las uniones de los puntos mediante racores han de ser accesibles para su inspección y verificación.

Las líneas de GNC comprenden los siguientes tramos:

- Vaporizador ambiental – Almacenamiento de GNC

- Almacenamiento de GNC – Dispensador de GNC.

4.2.7 Líneas de GNL

Las líneas de GNL se fabrican con tubo SCHEDULE 10 s de ½”, 1” y 1½”. También se utiliza una tubería de alta presión como la descrita en el apartado anterior entre la bomba de pistones y el vaporizador ambiental. Se comprenden los siguientes tramos:

-Tanque-Bombas criogénicas

-Bomba sumergida -Dispensador de GNL

-Dispensador de GNL-Tanque

-Bomba de pistones-Vaporizador ambiental

4.2.8 Líneas de recuperación de *boil-off*

Los conductos que van desde el tanque criogénico hasta el compresor de GNC se realizan con tubo SCHEDULE 10 S. Sin embargo, a partir del compresor hasta las botellas con tubería de alta presión.

4.3 Instalación aire comprimido

Esta planta está dotada de dos compresores de aire de 1,5 kW y 50 L y una red de distribución del aire, incluyendo las válvulas de derivación y accesorios, para alimentación a las válvulas de corte con accionamiento neumático de toda la planta. La red de distribución del aire se realiza mediante *tubing* de PVC con racores de acople rápido. La válvula de seguridad se encuentra tarada a una presión máxima de 12 bar.

4.4 Instalación de drenajes y venteos

Hay varias situaciones en la instalación por las que pueden producirse venteos. Una de ellas se tiene en el tanque, debido a la transferencia de calor al interior del mismo. Esto genera una vaporización paulatina del líquido situándose en la parte alta del depósito aumentando la presión en el tanque.

En condiciones de consumo bajo de GNL, se producirán venteos, como mecanismo de regulación de la presión del depósito, si el depósito de BOG y las botellas de GNC no fueran capaces de asumir dicho volumen. También es común que se produzcan pequeños venteos en fracciones de tuberías comprendidas entre dos válvulas en las que se haya podido quedar atrapado GNL.

Finalmente, se producirán venteos debido al gas que queda en la punta del dispositivo de carga, que necesariamente debe despresurizarse antes de desconectarlo del vehículo. Esta despresurización se lleva a cabo automáticamente a través de un venteo que incorpora el acoplamiento y se conduce a un punto de emisión segura.

Los escapes de las válvulas de seguridad están igualmente conducidos al mismo punto de emisión segura (parte más alta del tanque).

Se incorpora una línea que parte de cada equipo (tanque, bombas, almacenamiento GNC y aparatos suministradores) que conduce todos los venteos y drenajes que se produzcan a un colector común con el fin de evitar fugas de aire. Este conjunto de fugas se conduce a un punto de salida que se ubica en la parte más alta del tanque.

Los venteos se producen por posibles descargas de las válvulas de seguridad que llevan incorporadas los equipos así como los drenajes se producen por posibles condensados en las botellas de almacenamiento y en las bombas.

A la salida de este depósito se incorpora otra tubería de venteo de 2" de diámetro, asegurando que todos los venteos se conduzcan a este punto y desemboquen al aire libre, a una altura superior a 3 m. El extremo de la tubería de ventilación adopta una forma de T mirando hacia el suelo con el fin de no poder introducirse el agua en el interior del mismo, en zona suficientemente aireada.

4.5 Ventilación

Las bombas están equipadas con un sistema de refrigeración forzada por aire para refrigerarse.

4.6 Maquinaria y potencia instalada

Todos los equipos tienen que poseer un certificado CE o equivalente. A continuación se puede observar una relación de la potencia consumida por cada equipo en la **Tabla 7**.

Tabla 7: Potencia consumida por cada equipo de la estación

Equipo	Potencia (W)
Bomba de pistones	30 000
Bomba sumergida	22 000
Compresor <i>boil-off</i>	9 000
Compresor aire comprimido	3 000
Dispensadores	3 000
Iluminación	1 000
Tomas de corriente	10 000
PLC y control	2 000
Total potencia instalada	80 000

4.7 Composición y principales características de la materia prima

Esta planta solo va a utilizar gas natural como único producto consumido, procesado y suministrado.

4.7.1 Composición

La composición volumétrica tipo del gas natural varía según su procedencia y los suministros en España oscilan alrededor de los valores indicados en la **Tabla 8**.

Tabla 8: Composición del gas natural

Compuesto	% v mín	% v máx
Metano (CH ₄)	85,2	91,4
Etano (C ₂ H ₆)	7,2	13,6
Hidrocarburos superiores	0,4	0,8
Nitrógeno (N ₂)	0,6	0,8

4.7.2 Poder Calorífico Superior (PCS)

El poder calorífico superior (PCS) de un combustible es la cantidad de calor producido por la combustión completa de una unidad de masa o volumen de gas suponiendo que condense el vapor de agua que contienen los productos de la combustión. Suele expresarse en base a volumen y es del orden de $42 \text{ MJ/m}^3(\text{n})$ (Tabla 9) aunque varía con la composición.

4.7.3 Poder Calorífico Inferior (PCI)

El poder calorífico inferior (PCI) es la cantidad de calor producido por la combustión completa de una unidad de masa o volumen de gas sin que condense el vapor de agua que contienen los productos de la combustión. Para el gas natural, el PCI representa aproximadamente el 90 % de su PCS.

4.7.4 Densidad relativa

La densidad relativa es la relación entre la densidad absoluta del gas y del aire. La del gas natural se sitúa entre 0,55 y 0,65 en función de su composición siendo 0,6 en el caso de esta instalación (Tabla 9).

4.7.4 Propiedades principales del gas natural

Las propiedades físicas del gas natural se muestran en la **Tabla 9** y las propiedades de combustión en la **Tabla 10**

Tabla 9: Propiedades físicas del gas natural

Poder calorífico	42,5 MJ/m ³
Punto de ebullición normal	-163 °C
Densidad relativa del gas (respecto al aire)	0,6
Temperatura de autoignición	640 °C
Calor de vaporización	510 kJ/kg a 580 kJ/kg

Tabla 10: Propiedades de combustión del gas natural

Límite inferior de inflamabilidad	5 %
Límite superior de inflamabilidad	15 %
Aire necesario para combustión de 1 m ³ gas	10 m ³ de aire
Calor de combustión	51,1 MJ/kg
Velocidad combustión en un charco en estado continuo	0,5 cm/min a 1,5 cm/min
Altura llama charco incendiado (con viento suave)	3 veces la dimensión

4.8 Instalación eléctrica

4.8.1 General

La alimentación eléctrica partirá de una caja de protección y medida que se alimenta de la red de distribución de la compañía suministradora a través de la acometida teniendo en cuenta la potencia requerida para esta instalación. El suministro será de corriente alterna trifásica a 400 V / 230 V y dispondrá de un contador independiente.

La alimentación se lleva a cabo mediante una derivación individual enterrada bajo tubo corrugado que alimenta al cuadro general de mando y protección de la estación de gas natural. Resumiendo, el suministro y montaje está constituido por las siguientes instalaciones: Caja de protección de medida; derivación individual; cuadro de mando y protección de la estación; líneas de alimentación y líneas de control; red de puesta a tierra.

La instalación eléctrica y de iluminación de la instalación se ajusta al reglamento electrotécnico de baja tensión (ITC-BT-29).

4.8.2 Caja de protección y media

En ella se instalan los equipos de protección y medida de acuerdo a la potencia y actividad requeridas.

4.8.3 Derivación individual

La derivación individual consta de conductores unipolares RZ1-K(AS) XPLE 0,6 kV / 1 kV enterrados bajo tubo, de sección 4 X 50 + TT X 25 mm² con una longitud aproximada de 70 m.

4.8.4 Cuadro de distribución

Los cuadros van a ser metálicos con grado de protección IP 54 acorde a zonas no clasificadas y en intemperie según la norma CEI 60439.

Se trata de cuadros autoportantes, fabricados con chapa de 2 mm, revestidos de poliéster, con doble puerta equipada con bisagras y cerrojos accionados con llave, accesible por la parte frontal. Los cuadros se situarán aislados mediante paredes EI-180 en el interior de la caseta de equipos.

4.8.5 Líneas de alimentación y control

Cables de fuerza.

Las líneas de alimentación eléctrica se van a conducir a través de los tubos y arquetas de la estación a los diferentes equipos para el correcto conexionado de las mismas.

La derivación individual que alimentará el cuadro de distribución de la estación procedente de la caja de protección y medida se tenderá con cable conductor flexible, clase 5, de tensión de aislamiento 0,6 kV / 1 kV, aislamiento de polietileno reticulado (XLPE), y cubierta exterior libre de halógenos y temperatura máxima de servicio 90 °C, cuya designación técnica es RZ1-K (AS).

Las líneas de alimentación provenientes del cuadro de distribución de la estación se tienden con cable de conductor de cobre flexible, clase 5, de tensión de aislamiento 0,6 kV / 1 kV, aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) y cubierta exterior libre de halógenos y temperatura máxima de servicio 90°C, cuya designación técnica es RZ1-K.

Si el cable se encontrara en zona clasificada, incorporará adicionalmente una armadura mediante alambres de acero galvanizado, siendo su designación RZ1MZ1-K.

Cables de control

Los cables de control tendrán un nivel de aislamiento 0,6 kV / 1 kV, compuestos de polietileno reticulado (XLPE), y con la cubierta exterior libre de halógenos.

El conductor será de cobre electrolítico, de tipo recocido de alta conductividad, desnudo o recubierto de una capa metálica.

Red de tierra

La conexión a tierra se realiza conforme a lo establecido en el vigente reglamento electrotécnico de baja tensión. Se utiliza cable de cobre desnudo de 35 mm². De esta forma se colocan los conectores y dispositivos requeridos para la conexión de los equipos a la red de tierra enterrada de la estación. La planta tiene que garantizar siempre una resistencia inferior a 20 Ω, según la Norma UNE 60631-1/2008 por lo que todas las partes metálicas que hubiera han de estar debidamente conectadas a tierra.

4.9 Personal

Esta planta tiene un funcionamiento desatendido por lo que no necesita de personal. La descarga de GNL de la cisterna al depósito se lleva a cabo por el propio conductor como se muestra en la **Figura 30**. El repostaje de GNL y GNC en los vehículos se efectuará de la misma manera por el conductor. Hay que tener en cuenta que los conductores deberán tener una formación adecuada a este tipo de E.S. y además tendrán que disponer del correspondiente Equipamiento de Protección Individual (EPI) para realizar un repostaje adecuado. Este equipamiento incluye protección facial así como guantes, botas de seguridad y ropa de manga larga y pantalones largos. A su vez, personal cualificado realizará un mantenimiento periódico de los equipos de acuerdo a un Plan de Mantenimiento adecuado.



Figura 30: Repostaje en estación L-GNC móvil, km 17, M-607, Tres Cantos, Madrid

5 Justificación, cálculos y funcionamiento de la planta

5.1 Bombeo GNL desde cisterna hasta tanque

Cuando la planta lo requiera un camión cisterna suministrará de GNL al tanque de almacenamiento. Existen dos formas de bombear GNL desde la cisterna al tanque. La primera consiste en hacer pasar primero GNL por un intercambiador de calor generando gas que retornará a la cisterna para ejercer la presión necesaria que impulsará al GNL. La segunda forma es a través de una bomba auxiliar que incorpora el propio camión que proporcione la presión necesaria para el bombeo.

En esta instalación, el propio camión cisterna bombeará GNL a través de una bomba ubicada en el mismo. De esta forma se pueden realizar cargas rápidas.

5.2 Dimensiones tanque GNL

El volumen seleccionado para el tanque es de 60 m³, siendo éste el utilizado en todas las estaciones de suministro de gas natural vehicular existentes en Europa después de un estudio aproximado de la demanda. El volumen útil del tanque viene multiplicado por un factor de 0,9 resultando 54 m³.

Por otra parte, el depósito de un camión cisterna suele tener un volumen de 50 m³ y como el tanque de GNL tiene que ser capaz de albergar como mínimo esa cantidad, la elección del volumen es correcta en ese sentido, para permitir descargas completas de los camiones de suministro.

5.3 Estudio dimensiones del camión Iveco Stralis LNG

Este modelo es el más utilizado y desarrollado en Europa en este momento. De aquí en adelante, los cálculos irán referidos a este camión ya que éste representa el 90 % de la flota existente actualmente de camiones propulsados por GNL en Europa. Tiene un depósito de GNL de 510 L y unas botellas que almacenan 280 L de GNC.

Considerando una densidad de 500 kg/m³ para el GNL y 178,58 kg/m³ para el GNC se calcula la masa (kg) de gas natural que se extrae del tanque cada vez que un camión reposta por completo:

$$d = \frac{m}{v}$$

donde:

d = densidad [kg/m^3]

m = masa [kg]

v = volumen [m^3]

$$m_{\text{GNC}} = 178,58 \text{ L} \cdot 0,28 \text{ kg/m}^3 = 50 \text{ kg}$$

$$m_{\text{GNL}} = 500 \text{ L} \cdot 0,51 \text{ kg/m}^3 = 255 \text{ kg}$$

En el caso del depósito de GNL se tiene que dejar un espacio libre por seguridad para que el motor trabaje adecuadamente y el gas pueda ejercer la presión necesaria para impulsar el GNL hacia el motor. De esta forma se considera un margen de un 10 % y por tanto:

$$m_{\text{GNL}} = 500 \text{ L} \cdot 0,51 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,9 = 229,5 \text{ kg}$$

Al obtener la cantidad de gas natural que se extrae del tanque cada vez que se realiza un suministro completo, se calcula el volumen correspondiente de GNL que ha de extraerse del tanque en cada carga:

$$V_{\text{GNL(suministro GNL)}} = \frac{229,5}{500} = 0,459 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{GNL(suministro GNC)}} = \frac{50}{500} = 0,1 \text{ m}^3$$

Lo que supone en total, por cada repostaje completo un volumen de:

$$V_{\text{GNL total}} = 0,559 \text{ m}^3 \text{ GNL}$$

5.3.1 Suministro máximo diario

El caudal de suministro de GNL es de 200 L/min lo que supone un tiempo de 2,295 min para repostar un depósito completo de GNL. Por otra parte el tiempo que tarda en repostarse un depósito de GNC es de 5 min. Estos caudales se garantizan con reguladores de presión situados en los surtidores.

Además, se estiman 5 min extra tanto para GNL como para GNC añadidos para maniobras, conexión de líneas, etc. Esto supone unos 17 min totales en realizar una carga completa de un camión lo que permite realizar 84 cargas diarias aproximadamente. La estación tendrá por

tanto un consumo máximo de 46 m³ de GNL diarios máximos. Teniendo en cuenta que nuestra capacidad útil en el tanque es de 54 m³ se cubre la demanda máxima diaria.

5.4 Dimensionamiento tubería GNL

La tubería escogida para la conducción de gas natural comprimido se encuentra en la página del fabricante, en este caso SWAGELOK, y sus características se muestran en la **Figura 31**.

Se trata de una tubería de acero inoxidable austenítico de 25,4 mm de diámetro exterior y 2,1 mm de espesor. Este es el acero que se utiliza en toda la instalación y está diseñado para soportar temperaturas de hasta -254 °C (pag 34 ASME B.31.5). Como se puede comprobar en el ASME B.31.5, es el tipo de acero utilizado en este tipo de instalaciones y el único capaz de trabajar a estas temperaturas.

2 Stainless Steel Seamless Tubing

Material Standards

Fractional Sizes	Metric and Imperial Sizes
316 / 316L	
UNS S31600 / S31603 ASTM A213 / A269 W-NR 1.4401 / 1.4404	UNS S31600 / S31603 ASTM A213 / A269 W-NR 1.4435 SS 2353 AFNOR Z2CND17-13
304 / 304L	
UNS S30400 / S30403 ASTM A213 / A269	UNS S30400 / S30403 ASTM A213 / A269 W-NR 1.4301 / 1.4306 SS 2352 AFNOR Z2CN18-10

Chemical Composition

316 / 316L

Element	Fractional Sizes	Metric and Imperial Sizes
	Composition, wt. %	
Chromium	16.0 to 18.0	17.0 to 19.0
Nickel	11.0 to 14.0	12.5 to 15.0
Molybdenum	2.00 to 3.00	2.50 to 3.00
Manganese	2.00 max	2.00 max
Silicon	0.75 max	1.00 max
Carbon	0.035 max	0.030 max
Sulfur	0.030 max	0.015 max

304 / 304L

Element	All Sizes Composition wt. %
Chromium	18.0 to 20.0
Nickel	8.0 to 11.0
Manganese	2.00 max
Silicon	0.75 max
Carbon	0.035 max
Sulfur	0.030 max

Ordering Information, Dimensions, and Pressure Ratings

Select an ordering number.

Ordering numbers specify 316 / 316L stainless steel material. For tubing of 304 / 304L stainless steel, replace **SS** in the ordering number with **304L**.

Examples: **304L-T4-S-035-20**
304L-T6M-S-1.5M-6ME
304L-T4-S-065-6ME

Pressure ratings of tubing used with Swagelok® tube fittings may be limited by the end connection. For more information, see Swagelok Tubing Data, MS-01-107.

Fractional Sizes

Allowable working pressures are calculated from an S value of 20 000 psi (137.8 MPa) for ASTM A269 tubing at -20 to 100°F (-28 to 37°C), as listed in ASME B31.3 and ASME B31.1.

Tubing nominal length is 20 ft.

Tube OD In.	Tube Wall In.	Ordering Number	Weight lb/ft	Working Pressure psig
1/8	0.028	SS-T2-S-028-20	0.029	8 500
1/4	0.035	SS-T4-S-035-20	0.060	5 100
	0.049	SS-T4-S-049-20	0.105	7 500
	0.065	SS-T4-S-065-20	0.128	10 200
3/8	0.035	SS-T6-S-035-20	0.127	3 300
	0.049	SS-T6-S-049-20	0.171	4 800
	0.065	SS-T6-S-065-20	0.215	6 500
1/2	0.035 ^①	SS-T8-S-035-20	0.174	2 600
	0.049	SS-T8-S-049-20	0.236	3 700
	0.065	SS-T8-S-065-20	0.302	5 100
5/8	0.065	SS-T10-S-065-20	0.389	4 000
3/4	0.065	SS-T12-S-065-20	0.476	3 300
1	0.083	SS-T16-S-083-20	0.613	3 100
1 1/4	0.095 ^①	SS-T20-S-095-20	1.187	2 800
	0.120	SS-T20-S-120-20	1.473	3 600
1 1/2	0.120 ^①	SS-T24-S-120-20	1.792	3 000
	0.134	SS-T24-S-134-20	1.981	3 400
2	0.134 ^①	SS-T32-S-134-20	2.705	2 500
	0.188	SS-T32-S-188-20	3.686	3 600

① Not recommended for use with Swagelok tube fittings in gas service.

Fuente: [www.swagelok.com]

Figura 31: Características de la tubería GNL

En el catálogo del fabricante, SWAGELOK, para tuberías de acero inoxidable podemos encontrar la presión de servicio recomendada en función del diámetro y espesor del tubo. Por seguridad, la presión de diseño se tomará como dos veces la presión de servicio.

En el caso de la línea de GNL de 25,4 mm de diámetro la presión de servicio es de 213,74 bar y la temperatura a la que puede estar sometida es de -254 °C.

5.4.1 Espesor de chapa

El cálculo del espesor se ha realizado aplicando la fórmula:

$$e = \frac{P \cdot Di}{2(S \cdot F \cdot E \cdot T - P)}$$

donde:

e: espesor de la tubería [mm]

P: presión máxima de servicio [kg/mm²]

Di: diámetro interior tubería [mm]

S: Límite elástico del material [kg/mm²]

F: coeficiente según el tipo de construcción

E: factor de junta según procedimiento de fabricación de la tubería

T: factor de temperatura

Los coeficientes E y T toman el valor de la unidad en este tipo de instalaciones, y al coeficiente F de seguridad suele tomar un valor de 0,42 para gases en instalaciones vistas.

Por tanto considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$; $P_{\text{diseño}} = 2$; $P_{\text{servicio}} = 2 \cdot 15 = 30 \text{ bar} = 0,3 \text{ kg/mm}^2$; $S = 20,5 \text{ kg/mm}^2$; $Di = 21,1836 \text{ mm}$ resulta un espesor de **0,3823 mm**.

El espesor real dado por el fabricante lo podemos observar en la Figura 29. Tiene un valor de 0,083 " lo que equivale a **2,1082 mm**. Se puede observar que el valor real es mayor que el calculado, lo que indica que la elección de la tubería es correcta.

Se puede observar que la presión de servicio para este tipo de tubería es de 213,74 bar, valor mucho mayor que nuestra presión de trabajo que es 15 bar. Para los cálculos se ha supuesto que la presión de servicio será de 15 bar. Esto se debe a que el fabricante realiza tuberías a gran escala y ahorra en costes utilizando la misma presión de servicio para un mayor número de tuberías.

5.4.2 Flujo de calor por unidad de área

Para el cálculo del flujo de calor por unidad de área utilizamos la fórmula de resistencias conductivas para una capa cilíndrica, como se muestra a continuación:

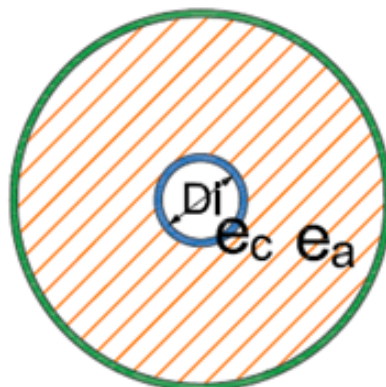
$$\frac{q}{L} = \frac{(T_{ext}-T_{int}) \cdot 2\pi k}{\ln(r_{ext}/r_{int})}; \frac{q}{A} = \frac{q}{2\pi r L}; \frac{q}{L} = 2\pi r \cdot \frac{q}{A} = \frac{(T_{ext}-T_{int}) \cdot 2\pi k}{\ln(r_{ext}/r_{int})}; \frac{q}{A} = \frac{(T_{ext}-T_{int}) \cdot 2\pi k}{2\pi r_{int} \cdot \ln(r_{ext}/r_{int})};$$

$$T_{ext} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}; T_{int} = -163 \text{ }^{\circ}\text{C}; k = 0,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); r_{ext} = 47,8919 \text{ mm}; r_{int} = 10,5918 \text{ mm}$$

$$\frac{q}{A} = 470,5408 \text{ W}/\text{m}^2$$

En este caso se ha considerado un coeficiente de transferencia k de 0,04 W/(m²·K), valor habitual para lana corrugada.

La tubería tiene un total de 10 cm de diámetro por lo que el espesor del aislante resultaría de 37,3 mm. De esta manera obtengo los radios inferior y exterior para el cálculo del flujo de calor. En la **Figura 32** se puede ver un esquema de la sección de la tubería.



Di: diámetro interno: 21,1836 mm




-  espesor aislante: 37,3 mm
-  espesor chapa: 2,1082 mm
-  chapa de aluminio exterior

Figura 32: Sección de la tubería GNL

5.4.3 Cálculo de la velocidad y pérdida de carga en la tubería GNL

El cálculo de la velocidad y pérdida de carga en la tubería de GNL se calculará, teniendo en cuenta la manera en que se esté conduciendo el GNL, bien mediante bomba o bien mediante diferencia de presión.

Suministro de GNL mediante bomba

-Velocidad de suministro:

Sabiendo que el caudal proporcionado por la bomba es de 200 L/min, es decir, 3 m³/s y el diámetro interno de la tubería es de 21,18 · 10⁻³ m se puede calcular mediante la fórmula que se muestra a continuación la velocidad.

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\pi \left(\frac{D_i}{2}\right)^2} = 9,457 \text{ m/s}$$

La velocidad de suministro en este tipo de instalaciones ronda los 7 m/s por lo que la elección es un valor razonable.

-Pérdida de carga:

$$h = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

donde:

h: pérdida de carga en m

v: velocidad fluido = 9,457 m/s

L: Longitud tubería del tanque al surtidor = 5 m

D: diámetro tubería = 21,1836x10⁻³ m

g: aceleración de la gravedad = 10 m/s²

f: factor de fricción

En este punto faltaría calcular el factor de fricción [f] para poder obtener la pérdida de carga. Para ello se calcula el número de Reynolds y la rugosidad relativa.

-Número de Reynolds:

$$Re = \frac{D_{int} \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

donde:

D_{int} : diámetro interno tubería GNL = $21,18 \cdot 10^{-3}$ m

v : velocidad de suministro tubería GNL = 9,457 m/s

ρ : densidad GNL = 500 kg/m³

μ : viscosidad dinámica del metano a -163 C = $4,54 \cdot 10^{-6}$ Ns/m²

La viscosidad dinámica se ha calculado con el programa Physprops.

$$Re = \frac{D_{\text{int}} \cdot v \cdot \rho}{\mu} = 2,2063 \cdot 10^7$$

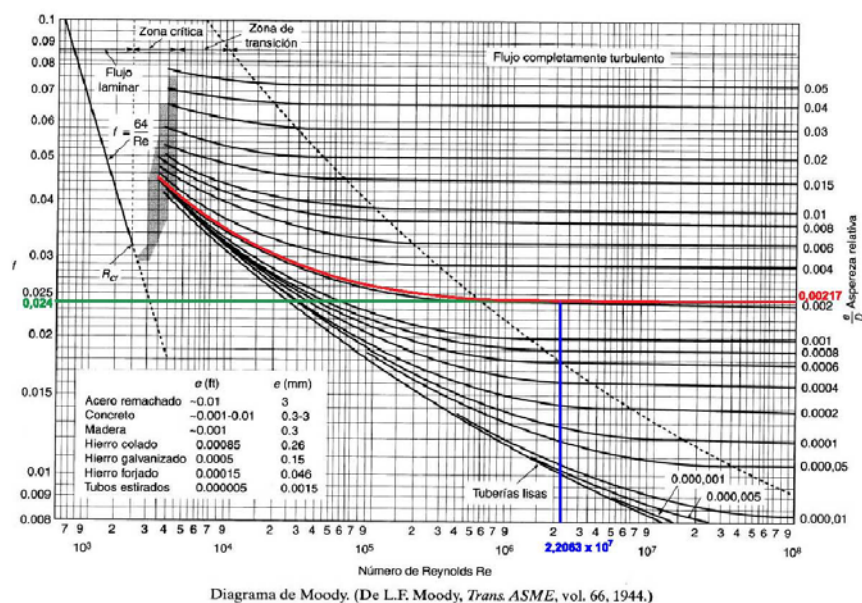
Como es superior a 4000, se corresponde con régimen turbulento.

-Rugosidad relativa:

El valor medio utilizado en el caso de aceros comerciales para la rugosidad absoluta es de $\varepsilon = 0,046$ mm. De esta manera se puede calcular la rugosidad relativa $\varepsilon/D = 2,17 \cdot 10^{-3} = 0,00217$.

-Factor de Fricción

Finalmente, utilizando el diagrama de Moody, con los valores de la rugosidad relativa y el número de Reynolds se obtiene el factor de fricción resultante $[f] = 0,024$ tal y como se puede ver en la **Figura 33**.



Fuente: [De L.F. Moody, *Trans ASME*, vol. 66, 1994]

Figura 33: Diagrama de Moody

Ahora se pueden introducir ya todos los datos para el cálculo de la pérdida de carga resultando:

$$h = \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = 25,33 \text{ m}; P = \rho g h = 500 \cdot 10 \cdot 25,33 = 126\,650 \text{ Pa} = 1,2665 \text{ bar}$$

La pérdida de carga es muy baja comparada con las presiones manejadas.

Suministro de GNL mediante diferencia de presión

Este caso se aplica al camión Iveco con presión de servicio 8,5 bar y 15 bar en el tanque de GNL. Según el teorema de Bernoulli:

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + \text{pérdidas}$$

donde:

$$z_1 = z_2$$

$$v_1 = 0$$

$$\rho = 500 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$p_1 = 15 \text{ bar} = 15 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$p_2 = 8,5 \text{ bar} = 8,5 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\text{pérdidas} = 0$$

Considerando las pérdidas de carga despreciables, se puede despejar v_2 en la ecuación para valorar la velocidad máxima obtenible con ese salto de presión:

$$v_2 = \sqrt{2(P_1 - P_2)/\rho} = 50,99 \text{ m/s}$$

El surtidor incorpora un regulador de presión que va a adecuar el salto de presión entre la línea GNL y depósito, para mantener un caudal de suministro de GNL constante de 200 L/min.

5.4.4 Conexión tanque GNL – dispensador GNL

El tanque tiene una presión de servicio de 15 bar y la presión en el surtidor se va a regular en función del camión que vaya a repostar entre 5 bar y 18 bar. Para ello se dispone de un regulador de presión en el surtidor y una bomba centrífuga intercalada entre el tanque y el

surtidor que bombeará GNL cuando sea requerido para garantizar el caudal de suministro en todo momento. De esta manera el transporte de GNL desde el tanque al dispensador se efectuará por diferencia de presión o mediante bomba.

Vehículos baja presión < 14 bar

El suministro se realizará mediante diferencia de presión entre tanque (15 bar) y depósito, que depende del fabricante:

-Presión de servicio depósito Iveco: 8,5 bar

-Presión de servicio depósito Volvo: 10 bar

-Presión de servicio depósito Scania: 9 bar

Vehículos alta presión > 16 bar

Dado que la presión del tanque es de 15 bar, será necesario el uso de una bomba para suministrar el GNL.

-Presión de servicio Mercedes Econic: 18 bar

5.5-Dimensionamiento tubería GNC

La tubería escogida para la conducción de gas natural comprimido podemos encontrarla en la página web de su fabricante PARKER y sus especificaciones pueden verse en la **Figura 34**.

R16X2-316



PRODUCT TYPE : Tubing Metallic
 TYPE : Metric Stainless Steel Tube
 OUTSIDE DIAMETER : 16mm
 LENGTH : 6m
 WALL THICKNESS : 2mm
 RATING : 368 bar static
 MATERIAL : Stainless Steel 316L
 SPECIFICATION : ASTM A269
 ADDITIONAL DETAIL : Seamless, cold drawn
 TRADE/BRAND NAME : EO Tube

[View Part](#)

[Puntos de venta](#)

Fuente: [www.parker.com]

Figura 34: Características de la tubería GNC

Se trata de una tubería de acero inoxidable austenítico de alta presión y es utilizada en este tipo de instalaciones.

5.5.1-Espesor de chapa

Sabiendo que el espesor proporcionado por el fabricante es de 2 mm y utilizando la presión de servicio, calculo el factor F que se está utilizando en la instalación para el correcto dimensionamiento de la tubería.

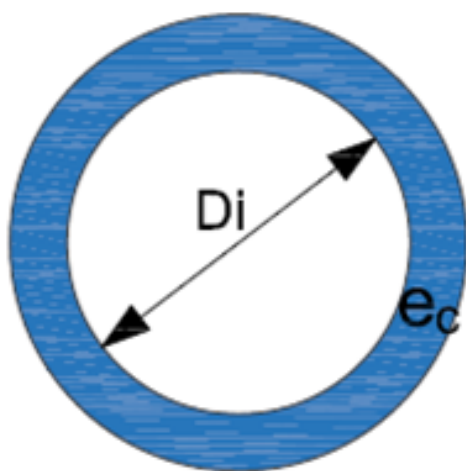
$$e = \frac{P \cdot D_i}{2(S \cdot F \cdot E \cdot T - P)}$$

Para este caso:

$P = P_{\text{servicio}} = 368 \text{ bar} = 3,68 \text{ kg/mm}^2$; $D_i = 12 \text{ mm}$; $S = 20,5 \text{ kg/mm}^2$; $E = 1$; $T = 1$; $e = 2 \text{ mm}$

$$F = \frac{\frac{p \cdot D}{4} + P}{S} = 0,718$$

En la **Figura 35** se puede ver un esquema de la sección de la tubería.



D_i : diámetro interior: 12 mm


 espesor chapa: 2 mm

Figura 35: Sección tubería GNC

5.6 Trayecto 1: tanque GNL a botellas de almacenamiento

La instalación comprime mediante una bomba de pistones GNL a 350 bar y se hace pasar por el vaporizador de alta presión, impulsando el gas resultante a las botellas de almacenamiento a razón de 875 m³(n)/h.

5.6.1 Cálculo del caudal real desde vaporizador hasta botellas

Utilizando la ecuación general de los gases en condiciones normales y reales se determina la relación de volúmenes existente para una cantidad determinada y de esta forma se obtiene el caudal a la presión y temperaturas de servicio de la estación.

$$P_1 \cdot V_1 = Z_1 \cdot n \cdot R \cdot T_1$$

$$P_2 \cdot V_2 = Z_2 \cdot n \cdot R \cdot T_2$$

Condiciones normales: $P_1 = 1 \text{ atm} = 1,01325 \text{ bar} = 101325 \text{ Pa}$; $T_1 = 0^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K}$

Condiciones reales: $P_2 = 350 \text{ bar} = 35 \times 10^6 \text{ Pa}$; $T_2: 15^\circ\text{C} = 288,25 \text{ K}$

Constante universal de los gases: $R = 8,31 \times 10^3 \text{ m}^3 \cdot \text{Pa}/(\text{K} \cdot \text{kmol})$

Cálculo de los factores de compresibilidad Z_1 y Z_2

Primero calculamos las temperaturas y presiones reducidas para las dos suposiciones:

$$T_r = \frac{T}{T_c}$$

$$P_r = \frac{P}{P_c}$$

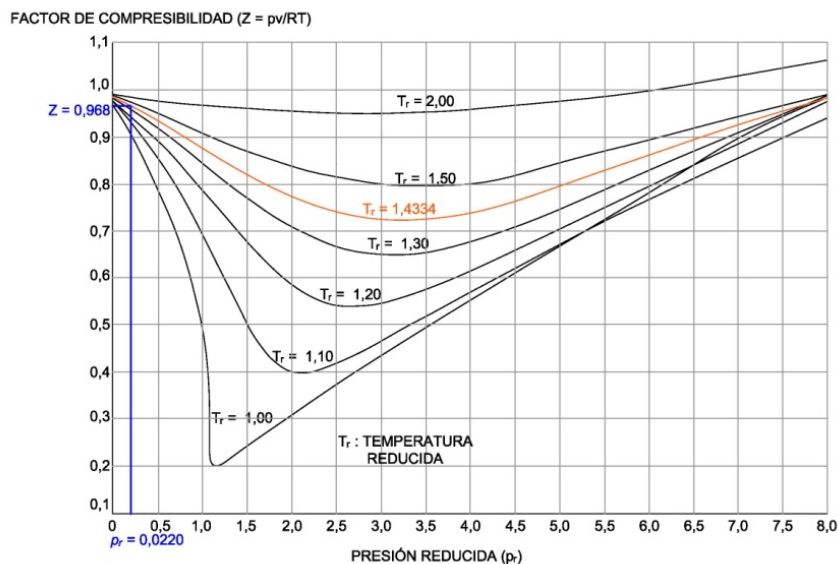
Para el cálculo, vamos a considerar la temperatura y presión críticas del metano ya que representa el 96,5 % del gas natural, obteniendo su valor en tablas.

$$T_{c \text{ CH}_4} = -82,59^\circ\text{C} = 190,56 \text{ K} ; P_{c \text{ CH}_4} = 45,99 \text{ bar}$$

Condiciones normales: $T_r = 273,15/190,56 = 1,433$; $P_r = 1,01325/45,99 = 0,022$

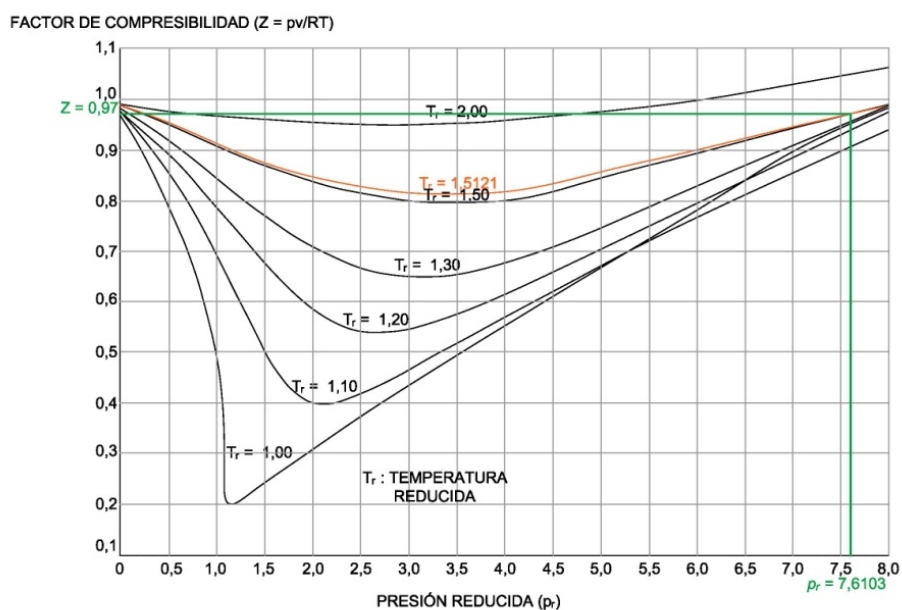
Condiciones reales: $T_r = 288,15/190,56 = 1,512$; $P_r = 350/45,99 = 7,610$

Ahora entramos en el diagrama generalizado del factor de compresibilidad y se obtienen los valores de Z resultando: $Z_1 = 0,97$ (**Figura 36**) y $Z_2 = 0,94$ (**Figura 37**).



Fuente: [Wikipedia]

Figura 36: Factor de compresibilidad para condiciones reales Z_1 : 0,97



Fuente: [Wikipedia]

Figura 37: Factor de compresibilidad para condiciones reales Z_2 : 0,94

Cálculo del caudal real

Se calcula ahora para una cantidad de sustancia la relación que existe entre los volúmenes para las dos situaciones estudiadas:

$$P_1 \cdot V_1 = Z_1 \cdot n \cdot R \cdot T_1$$

$$P_2 \cdot V_2 = Z_2 \cdot n \cdot R \cdot T_2$$

$$V_2 = V_1 / 337,89$$

De esta manera se determina la densidad en estas condiciones y a partir de ahí el caudal en condiciones reales.

$$\rho_{T=15^{\circ}C; P=350 \text{ bar}} = 255,545 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_{real} = \frac{Q_{normal}}{337,89} = 2,5896 \text{ m}^3/\text{h} = 661,759 \text{ kg/h}$$

Esto indica que se llenan las botellas a razón de 2,5896 m³/h, en el momento de suministro a mayor velocidad.

Cálculo de la masa total

Por otro lado sabemos que el almacenaje de GNC está compuesto por 2 racks de 15 botellas de 80 L cada una, lo que supone una capacidad total de 2400 L, es decir, 2,4 m³.

Condiciones de almacenamiento en las botellas: T = 15°C ; P = 290 bar ; ρ = 232,1 kg/m³.

De esta forma podemos calcular a continuación la masa total almacenada:

$$M_{total} = 2,4 \text{ m}^3 \cdot 232,099 \text{ kg/m}^3 = 557,04 \text{ kg}$$

5.7 Trayecto 2: botellas de almacenamiento al camión

5.7.1-Cálculo de caudales entre las botellas de almacenamiento y el camión

Condiciones normales: $T = 0^{\circ}\text{C}$; $P = 1,01325 \text{ bar}$; $\rho = 0,716 \text{ kg/m}^3$.

Condiciones botellas almacenamiento: $T: 15^{\circ}\text{C}$; $P: 290 \text{ bar}$; $\rho = 232,1 \text{ kg/m}^3$

Condiciones depósito camión: $T: 15^{\circ}\text{C}$; $P: 200 \text{ bar}$; $\rho = 178,58 \text{ kg/m}^3$

El depósito del camión tiene una capacidad de $0,28 \text{ m}^3$ por lo que la cantidad de gas natural que se puede almacenar es de 50 kg para las condiciones de presión y temperaturas del camión. De esta forma, cada vez que se suministra por completo un camión se extrae 50 kg de las botellas de almacenamiento y se tardan 5 min en realizar la carga completa en el camión.

En el caso de que haya dos camiones repostando a la vez se tardarán 5 minutos igualmente en suministrar cada camión simultáneamente. Esto se debe a que el suministro está correctamente dimensionado ya que la presión en las botellas va a ser siempre superior a la del depósito del camión en cualquier momento de la carga. El regulador de presión situado en el dispensador se encarga de dosificar la cantidad de paso de fluido.

Al inicio de la carga, existe una diferencia de presión muy grande entre las botellas y el depósito y de esta forma la carga es rápida. Según va transcurriendo el tiempo el depósito empieza a llenarse y las botellas están cada vez más vacías igualándose las presiones a ambos lados cada vez más. Ahora el regulador tiene que estrangular cada vez menos el paso de gas para hacer posible el suministro resultando la carga más lenta en el último tramo del suministro.

$$\begin{aligned} Q_{normal} &= 50/5 \text{ kg/min} = 50/5 \cdot 60 = 600 \text{ kg/h} = 600/0,716 \text{ m}^3(n)/h \\ &= 837,988 \text{ m}^3(n)/h \end{aligned}$$

$$Q_{real} = 600/232,099 = 2,585 \text{ m}^3/h$$

5.7.2-Cálculo de la presión a la llegada del surtidor

A continuación vamos a utilizar la fórmula de Renouard simplificada para gases con el fin de calcular la presión de llegada al surtidor:

$$P_1^2 - P_2^2 = 51,5 \cdot Q^{1,82} / D^{4,82} \cdot C_L \cdot L \cdot \rho_r$$

donde:

P_1 : Presión inicial absoluta = 290 bar

P_2 : Presión final absoluta: incógnita

Q: Caudal normal (0 °C, 1 atm) = 837,988 m³(n)/h

D: Diámetro interno de la tubería = 12 mm

C_L : Coeficiente de linealidad (1,05 tramos rectos; 1,2 distribución) = 1,05

L: Longitud de tubería = 10 m

ρ_r : Densidad relativa del gas = 0,53

$$P_2 = \left(290^2 - (51,5 \cdot (837,988^{1,82} / 12^{4,82}) \cdot 1,05 \cdot 10 \cdot 0,53) \right)^{1/2} = 289,35 \text{ bar}$$

Por tanto la pérdida de carga total en este caso sería:

$$P_1 - P_2 = 290 - 289,35 = 0,65 \text{ bar}$$

Lo que supone un valor despreciable para los cálculos que tengo que efectuar.

5.7.3 Cálculo del caudal normal máximo en el caso de no haber regulador de presión

Utilizando de nuevo la fórmula de Renouard se puede determinar el caudal máximo con los mismos datos del apartado anterior siendo ahora Q la incógnita y $P_2 = 200$ bar.

$$Q^{1,82} = (P_1^2 - P_2^2) \cdot D^{4,82} / 51,5 \cdot C_L \cdot L \cdot \rho_r$$

$$Q^{1,82} = 97.954.526,16$$

$$1,82 \cdot \ln Q = \ln 97.954.526,16$$

$$Q = 24.480.472,6 \text{ m}^3/\text{h}$$

5.7.4 Cálculo de la velocidad real de suministro

Para este cálculo se emplea la fórmula siguiente

$$v = 378 \cdot (Q \cdot Z / P_m \cdot D^2)$$

donde:

v: velocidad del fluido [m/s]: incógnita

Z: factor de compresibilidad = 0,9

P_m: presión media en el tramo entre botellas y depósito camión = 290 bar

D: diámetro de tubería = 12 mm

Q: caudal normal = 837,9 m³

Cálculo del factor de compresibilidad Z:

Para el cálculo de la velocidad, es necesario determinar el factor de compresibilidad Z en las condiciones de trabajo haciendo uso del diagrama generalizado del factor de compresibilidad.

Primero se calcula la temperatura y presión reducidas para T = 15 C y P = 290 bar

$$T_r = \frac{T}{T_c}$$

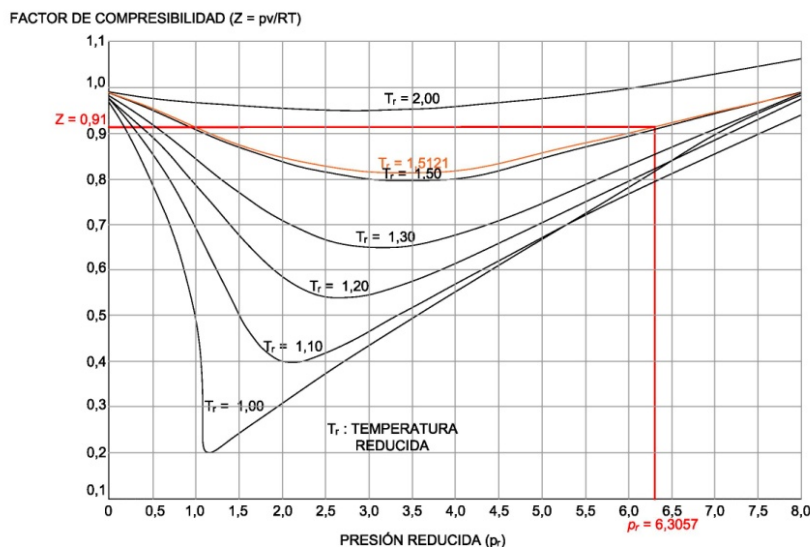
$$P_r = \frac{P}{P_c}$$

Para el cálculo, vamos a considerar la temperatura y presión críticas del metano ya que representa el 96,5 % del gas natural, obteniendo su valor en (encyclopediaairliquide.com)

$$T_{c \text{ CH}_4} = -82,59 \text{ °C} = 190,56 \text{ K} ; P_{c \text{ CH}_4} = 45,99 \text{ bar}$$

$$T_r = 288,15/190,56 = 1,512 ; P_r = 290/45,99 = 6,3057$$

Acudiendo al diagrama se obtiene un valor de compresibilidad Z = 0,9 **Figura 38**.



Fuente: [Wikipedia]

Figura 38: Factor de compresibilidad para condiciones reales Z: 0,9

Ahora, introduciendo todos los datos en la fórmula de la velocidad, se obtiene:

$$v = 6,826 \text{ m/s}$$

La velocidad de suministro de GNC en este tipo de instalaciones suele estar entorno a los 5 m/s y 20 m/s por lo que se considera correcto el cálculo.

5.8 Tiempos de carga

Se pueden presentar dos casos, uno en el que suministra un camión y se consumen 50 kg o el caso en el que suministran simultáneamente dos camiones donde se extraen 100 kg de las botellas.

Tiempo en recargar 50 kg y 100 kg en las botellas:

Como se ha calculado anteriormente el caudal másico de llenado de las botellas es de 661,759 kg/h por lo que se tardarán 4,5333 min en rellenar 50 kg y 9,0667 min en rellenar 100 kg.

Se considerará que las botellas estén siempre llenas cuando se va a repostar para garantizar la disponibilidad al máximo.

Como se ha estudiado antes se estima un tiempo de 10 min cada vez que un camión suministra un depósito completo de GNC, siendo 5 min empleados para el suministro y otros 5 min para maniobras, conexiones, etc.

De esta forma, los 5 minutos que no se emplean en el suministro del camión se destinan a rellenar las botellas de nuevo utilizando 4,53 min, garantizando que las botellas estarán siempre llenas a la llegada del siguiente camión.

En el caso excepcional de estar repostando dos camiones a la vez se tardan 5 min igualmente en suministrar dos camiones simultáneamente. La parada total sería igualmente de 10 minutos, 5 min empleados en suministrar y 5 min para maniobras y conexiones. En este caso se necesita el doble de tiempo para rellenar las botellas, es decir, 9,07 min. Además serían necesarios 4,07 minutos extras para completar el llenado de las botellas. De esta forma, se necesitarían en este caso 4,1 min extras para completar el llenado de las botellas. En este caso, necesitaríamos 14,1 min totales desde que entra un camión a suministrar hasta que puede entrar el siguiente. Puesto que la demanda estimada no supera los 20 camiones diarios, queda garantizada la máxima disponibilidad en cualquier caso.

5.9 Presión en las botellas después de suministro que garantiza la operación

El almacenamiento de GNC consiste como he indicado anteriormente en 2 racks de 15 botellas de 80 L cada una interconectadas entre sí por lo que cada botella se irá vaciando a la misma equitativamente.

Como hemos calculado anteriormente la masa total que puede almacenarse en las botellas es de 557,0376 kg. Esto corresponde a la situación en la que las botellas están completamente llenas y tenemos una presión de 290 bar. Después de realizar una carga, la masa residual será 507,0376 kg, y realizando dos cargas 457,0376 kg.

Densidad en las botellas después de suministro:

$$\rho_{50 \text{ kg}} = 507,0376 / 2,4 = 211,2656 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{50 \text{ kg}} = 457,0367/2,4 = 190,4323 \text{ kg/m}^3$$

De esta forma, con la densidad y sabiendo que la temperatura es de 15 C, obtenemos la presión residual (con el programa....) en ambos casos resultando:

$$P_{50 \text{ kg}} = 248,57 \text{ bar}$$

$$P_{100 \text{ kg}} = 215 \text{ bar}$$

En el caso más restrictivo ($P_{\text{final}} = 215 \text{ bar}$) podemos comprobar que se garantiza un suministro correcto ya que la presión en las botellas es en todo momento superior a la presión del camión de 200 bar. Es en este caso el regulador de presión del surtidor el encargado de proporcionar el tiempo de 5 min de suministro.

5.10 Gestión del boil-off

El tanque de GNL genera una cantidad de *boil-off* diaria que ha de ser extraída siempre que se supere la presión máxima de servicio del depósito.

De esta manera se dispone de un depósito de *boil-off* que tendrá la capacidad de almacenar el gas producido en 1 día. Posteriormente tras su llenado, el gas se comprime mediante un compresor a 290 bar para ser almacenado en las botellas de almacenamiento de GNC.

El depósito tiene que ser lo suficientemente grande como para que el compresor trabaje solo en momentos puntuales. En este depósito se almacenan todos los venteos producidos por la estación en condiciones normales de operación, principalmente del retorno de gas procedente del dispensador de GNL, venteos del dispensador de GNC y mayoritariamente el *boil-off* que se forma en el tanque de GNL para aliviar la presión del mismo.

El *boil-off* generado diariamente en el tanque equivale a 0,12 m³ de GNL (dato sacado de sedigas...). De esta forma, sabiendo que la densidad del GNL es 500 kg/m³ calculo los kg de gas natural que se me forman en un día:

$$m = v \cdot \rho = 0,12 \times 500 = 60 \text{ kg}$$

5.10.1 Volumen geométrico del tanque de *boil-off*

Ahora vamos a calcular el volumen geométrico del depósito sabiendo que tiene que almacenar 60 kg de masa efectiva que va a comprimirse posteriormente.

$$m_{\text{útil}} = 60 \text{ kg} = m_{\text{final}} - m_{\text{inicial}} = \rho_2 \cdot V_2 - \rho_1 \cdot V_1 = (\rho_2 - \rho_1) \cdot V_g$$

$$V_g = m_{\text{útil}} / (\rho_2 - \rho_1)$$

Se quiere almacenar *boil-off* para comprimirlo posteriormente y almacenarlo en los racks de botellas por lo que debemos asegurar una presión en el tanque mínima por encima de la atmosférica para un correcto funcionamiento del compresor. Esta es la razón de hablar de masa útil, pues es la que puedo bombear hacia las botellas, teniendo que existir además una masa inicial remanente que proporcione la presión necesaria para el suministro.

Condiciones tanque de boil-off al mínimo de su capacidad: $T = 15 \text{ °C}$; $P = 2,01325 \text{ bar}$

Condiciones tanque de boil-off al máximo de su capacidad: $T = 15 \text{ °C}$; $P = 15 \text{ bar}$

La presión mínima de 2,01325 bar se establece para estar al menos 1 bar por encima de la presión atmosférica y la presión máxima de 15 bar se alcanza al llenarse por completo el depósito e igualarse con la presión de servicio del tanque de GNL.

De esta manera al tener los datos de temperatura y presión para los dos casos obtengo las densidades correspondientes:

$$\rho_1 = 1,409 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_2 = 10.866 \text{ kg/m}^3$$

Ahora puedo hallar el volumen geométrico del tanque resultando:

$$v_g = m_{\text{útil}} / (\rho_2 - \rho_1) = 60 / (10,866 - 1,409) = 6,3445 \text{ m}^3$$

5.10.2 Caudal másico

En este punto vamos a calcular el caudal suponiendo que el suministro se hiciera en las condiciones de llenado mínimo y en el supuesto de hacerse en condiciones de llenado máximo.

$$Q_{\text{másico (2 BAR)}} = 24 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,409 \text{ kg/m}^3 = 33,816 \text{ kg/h}$$

$$Q_{\text{másico (15 BAR)}} = 24 \text{ m}^3/\text{h} \times 10,866 \text{ kg/m}^3 = 260,784 \text{ kg/h}$$

5.10.3 Tiempo de suministro

Sabiendo que el compresor tiene que bombear 60 kg diarios calculamos el tiempo que tardaría en realizarse la carga para las dos suposiciones.

$$T_{2 \text{ BAR}} = 60/33,816 = 1 \text{ h } 47 \text{ min}$$

$$T_{15 \text{ BAR}} = 60/260,784 = 13,81 \text{ min}$$

Hallados los tiempos el compresor no trabajará en ningún caso más de 1h 47 min al día y el tiempo de suministro estará comprendido entre los dos tiempos calculados.

5.10.4 Cambio en la composición de producto con el tiempo

Cuando se forma *boil-off* en el tanque de GNL se sitúa en la parte más alta del mismo siendo la composición de este gas la correspondiente a la parte más ligera del gas natural, principalmente metano. Por tanto la composición del gas que se extrae es principalmente nitrógeno y metano. Por este motivo se instala un pequeño vaporizador a la entrada del depósito de *boil-off* para derivar GNL hacia él e introducirlo posteriormente en el depósito. De esta forma se consigue equilibrar la composición del gas en este caso excepcional pues hay que preservar la calidad del gas en el suministro en todo momento.

6 Valvulería

Las válvulas son dispositivos que permiten iniciar, detener o regular la circulación de un fluido mediante una pieza móvil que abre, cierra o estrangula de forma parcial uno o más orificios o conductos.

6.1 Válvulas de compuerta

Las válvulas de compuerta están diseñadas para abrir o cerrar completamente el paso de un fluido que circula por una tubería. Por el contrario no son recomendables para la regulación de fluidos ya que al no haber sido preparadas para este uso existe mucho roce del fluido con la compuerta.

Las ventajas de estas válvulas son su bajo precio, se reparan fácilmente y su baja pérdida de carga. Por el contrario presenta limitaciones como la mala estanqueidad con altas presiones y el obturador semiabierto y la acumulación de depósitos sólidos en la caja de anclaje de la cuña.

6.2 Válvulas de macho

Tienen la misma función que las válvulas de compuerta trabajando en posición totalmente abierta o totalmente cerrada. Su dispositivo de cierre es un tapón provisto de un orificio llamado lumbrera que gira sobre su eje. La apertura se realiza girando el macho sobre su eje hasta que la lumbrera coincide con las ventanas del cuerpo de la válvula.

Son recomendables en aquellas instalaciones que trabajan con presiones pequeñas y requieren rapidez y seguridad de maniobra, montándose a veces sin palanca ni volante para evitar falsas operaciones. Se utilizan principalmente en terminales de almacenamiento.

Las ventajas de estas válvulas son su gran rapidez de maniobra y se ven poco afectadas por sólidos en suspensión.

6.3 Válvulas esféricas

Estas válvulas suelen considerarse como un caso particular de las válvulas de macho en las que se ha sustituido el tapón por una bola perforada que, al girar y quedar alineada con las salidas de la válvula y la tubería, permite el paso de fluido. En estas válvulas la estanqueidad se consigue por el contacto entre un anillo y la bola o esfera. El desplazamiento tiene lugar por la misma presión del fluido.

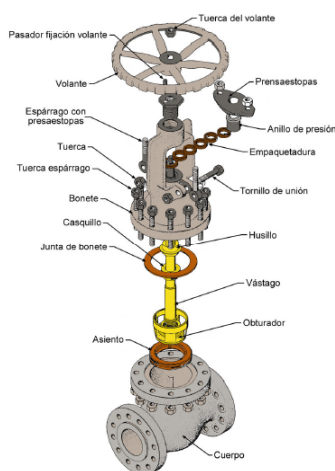
Entre los diferentes tipos de válvulas esféricas o de bola se pueden distinguir las guiadas y las no guiadas.

6.4 Válvulas de globo

Estas válvulas ofrecen una gran resistencia al paso de fluidos, por lo que se usan principalmente como válvulas de estrangulación o regulación, con una apertura parcial.

Este tipo de válvulas no permiten el paso de rascadores por lo que no pueden utilizarse en la línea principal.

Es interesante su empleo en aquellos casos en que es necesaria una regulación del fluido y también en servicios de uso frecuente, por la facilidad que tienen para la sustitución del obturador y los asientos cuando estos se desgastan o deterioran por erosión. En la **Figura 39** se pueden diferenciar las distintas partes de una válvula de globo.



Fuente: [www.directindustry.com]

Figura 39: Válvula de globo

6.5 Válvulas de mariposa

Consisten en un disco de forma lenticular que gira alrededor de un eje guiado en ambos extremos por sendos cojinetes

La estanqueidad se consigue por medio de unas juntas tóricas alojadas en la mariposa que al cerrar se ajustan con el cuerpo. Otras veces es el propio cuerpo el que va recubierto de un manguito de caucho sintético sobre el que se aprieta la mariposa al cerrar.

En ocasiones, estas válvulas se consideran como elementos de regulación, al poder crear una pérdida de carga modificando su apertura. Como válvulas de cierre se emplean cuando no son demasiado elevadas las presiones y las temperaturas incorporando en algunos casos una doble mariposa.

Tienen como ventaja su accionamiento rápido, al realizarse la apertura y el cierre con un cuarto de vuelta, su bajo precio y su pequeño mantenimiento. En la **Figura 40** se muestra un ejemplo de válvula de mariposa.



Fuente: [www.valvulasmexico.com]

Figura 40: Válvula de mariposa

6.6 Válvulas de doble bloqueo

Son válvulas modernas, cuya característica principal es que tanto en la apertura como en el cierre no se produce fricción de los asientos con el cuerpo, lo que minimiza el desgaste de las partes blandas, que en este caso suelen ir insertadas en unas compuertas deslizantes que actúan como obturador.

Sus mayores ventajas son que no sufre deterioro de sus asientos por rozamiento y abrasión, su cierre no está sujeto a la acción de un muelle que puede degenerar con el tiempo y sobre todo, su estanqueidad depende del empuje del efecto pistón cuando la presión de producto es baja. El coste de este tipo de válvulas es bastante alto pero su duración y excelente estanqueidad las hacen muy recomendables en conexiones críticas. Como podemos ver en la **Figura 41** la válvula lleva incorporada un doble bloqueo de seguridad.



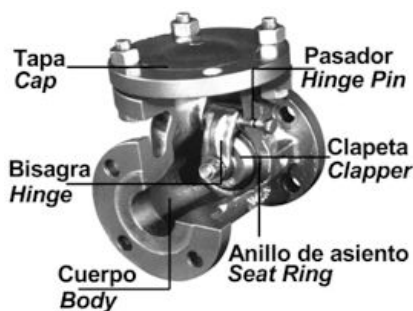
Fuente: [www.solostocks.com]

Figura 41: Válvula de doble bloqueo

6.7 Válvulas de retención

Se llaman también válvulas *check*. Permiten el paso del líquido en una sola dirección impidiendo que éste pueda retroceder.

Estas válvulas se cierran automáticamente cuando el flujo se invierte y el propio líquido el que la hace cerrar y comprimir contra el anillo del asiento. Suelen estar empleadas en aislar tramos de tubería. Se muestra un esquema en la **Figura 42**.



Fuente: [www.uhls.es]

Figura 42: Válvula de retención

6.8 Válvulas autorreguladoras

Estas válvulas tienen el objeto de limitar el paso del fluido con el fin de que la presión no exceda cierto límite.

Tienen un sensor aguas abajo que detecta cuando la presión supera la deseada enviando una señal a la parte superior del pistón. De esta forma la válvula se va cerrando progresivamente hasta restablecer la presión de trabajo. En la **Figura 43** pueden apreciarse las partes de una válvula autorreguladora.



Fuente: [www.industriasfema.com]

Figura 43: Válvula autorreguladora

6.9 Válvulas de seguridad

Tienen como objetivo eliminar la presión de un recipiente o tubería cuando la presión supera los límites prefijados considerados operativamente peligrosos.

El obturador de la válvula permanece cerrado si la presión del fluido es inferior a la de tarado. Cuando la presión del fluido sobrepasa este valor, el obturador abre para desalojar el exceso de fluido. La presión de tarado se fija por regulación de la tensión mecánica de un muelle, cuya fuerza actúa sobre el obturador en sentido inverso a la presión. Dentro de estos tipos de válvulas podemos encontrar los siguientes tipos:

PSV: Para la seguridad de las líneas cuando se está bombeando producto, por lo tanto son de gran capacidad de desahogo. Deben tener una sección de paso suficiente para evacuar un caudal que limite la sobrepresión a un 10 % como máximo. Esto se puede conseguir con la instalación de varias válvulas iguales.

TSV: Para la seguridad de las líneas cuando están aisladas, para la salida de producto entre dos válvulas de aislamiento cerradas. El aumento de temperatura tiene efectos sobre la vaporización del producto y la presurización de la línea, por lo que hay que protegerla con estas válvulas. Se observa una válvula de seguridad en la **Figura 44**.



Fuente: [www.valvulasnacional.com]

Figura 44: Válvula de seguridad

6.10 Válvulas de control

Son equipos integrados en un sistema de control donde actúan como elementos de regulación de las condiciones de servicio del proceso. Se utilizan principalmente para controlar el arranque/parada de grupos centrífugos, la presión de aspiración, la sobrepresión, los caudales y para el alivio de presiones

El accionamiento en lugar de ser manual se realiza por medio de un actuador que recibe señales precedentes del controlador de proceso, en función de las cuáles actúa para conseguir una mayor o menor estrangulación al paso del flujo.

La forma y el cuerpo vienen determinados por los elementos internos que lo integran:

- El obturador que puede ser asiento o globo, rotativo, excéntrico, etc., y que va unido bien por rosca o por un tornillo prisionero al vástago de la válvula y por tanto sigue el movimiento alternativo de éste.
- El asiento o asientos sobre los que cierra el obturador y que puede estar dotado o no de anillos de protección y de estanqueidad.

- La guía o guías del obturador que facilitan su movimiento y su ajuste contra los asientos.

Se muestra una imagen de una válvula de control en la **Figura 45**.



Fuente: [www.interempresas.net]

Figura 45: Válvula de control

7 Cumplimiento de Normativa y Seguridad

7.1 Cumplimiento de la Norma UNE 60210:2001 sobre plantas satélite de gas natural licuado

7.1.1 Instalación de descarga

La conexión entre la instalación de descarga y la cisterna se realiza a través de una manguera flexible criogénica permanente conectada a la instalación fija de tipo ENAGAS de 2”.

7.1.2 Instalación de almacenamiento

El depósito tiene una capacidad de 60 m³ y se ajusta a todos los requisitos de la Norma UNE-EN 1160 para GNL.

7.1.3 Instalación de regasificación

Se utilizan los materiales requeridos según la Norma UNE-EN 1160 para GNL.

El equipo de regasificación consta de una válvula de seguridad criogénica, en caso de tener que aliviar gas para evitar que la presión pueda exceder el 110 % de la presión máxima de trabajo. Los alivios se protegen con los correspondientes apagallamas.

7.1.4 Tuberías, válvulas y uniones

Los materiales utilizados están recogidos en la Norma UNE-EN 1160.

Todos los elementos que puedan entrar en contacto con el GNL serán adecuados para operar a -196°C.

Los soportes de las tuberías y las fijaciones de las mismas sobre ellos deben evitar la creación de corrosión galvánica y permitir sus contracciones y dilataciones térmicas sin rebasar las tensiones permitidas.

Todos los tramos de tuberías comprendidos entre válvulas de cierre estarán protegidos mediante válvulas de alivio para evitar daños en la misma debido a la gasificación del líquido atrapado.

7.1.5 Instalación de control

La instalación contará con los siguientes elementos:

- Manómetro de presión de servicio, nivel de llenado, nivel de punto alto y válvulas de servicio para el depósito criogénico.

- Registro en el cuadro de control general de la presión y temperatura del gas antes de su salida de planta.

7.1.6 Instalación eléctrica

La clasificación de zonas de la planta se realiza según la Norma UNE-EN 60079-10. La instalación eléctrica, de iluminación y la instalación de cuadros eléctricos o de control, se efectuará de acuerdo con lo indicado en el reglamento electrotécnico de baja tensión (MIE-BT-026). Todas las partes metálicas de la planta, así como la cisterna durante la operación de descarga, se hallarán conectadas a tierra, de modo que la resistencia de puesta a tierra sea inferior a $20\ \Omega$.

7.1.7 Instalación contra incendios

La normativa exige la dotación a los equipos de 10 kg de polvo por cada 1000 kg de GNL, con un mínimo de 2 kg en dos extintores. Véase apartado 8.5.2-Cumplimiento de la normativa contra incendios.

7.1.8 Instalación de odorización

El gas debe ser correctamente olorizado ya que el gas natural es inodoro, de manera que cualquier fuga pueda ser detectada con facilidad cuando exista una mezcla cuya concentración volumétrica sea $1/5$ de la correspondiente al límite inferior de inflamabilidad.

7.1.9 Emplazamiento

La instalación estará protegida con una cerca metálica que impida la entrada de personas ajenas. Tendrá a su vez dos salidas contrapuestas con puertas de apertura en dirección de salida. Se colocará un cartel en un lugar visible donde se informe de los peligros específicos y medidas de seguridad recomendadas.

Toda la instalación, hasta la válvula de seguridad de mínima temperatura, se ubicará en el interior de un cubeto de contención de derrames. Éste debe tener la suficiente capacidad para albergar todo el líquido del depósito. Las paredes del cubeto estarán a 1,5 m como mínimo de la superficie del depósito.

7.1.10 Distancias de seguridad

Las distancias de seguridad se muestran detalladamente en los planos de implantación.

7.2 Cumplimiento de la Norma UNE 60631-1:2008 sobre estaciones de suministro de GNC a vehículos

7.2.1 Instalación de almacenamiento

La instalación de almacenamiento está dotada de:

- Válvula de seguridad por sobrepresión.
- Válvulas de accionamiento manual (1/4 de vuelta) a la entrada y a la salida.
- Manómetro.
- Válvula para el purgado y vaciado de la instalación.
- Válvula automática de corte a la salida.

7.2.2 Aparatos suministradores

El dispensador tendrá un dispositivo de corte por exceso de flujo para evitar escapes en caso de rotura de manguera. Tiene también un mecanismo de corte automático del suministro de gas para ocasiones en que el vehículo abandone la posición sin haber desacoplado la manguera.

Para iniciar la carga del vehículo se deberá pulsar el botón de inicio de carga. La presión de repostaje será de 200 bar a 15 °C, sin superar los 260 bar.

El conector de carga tiene que ajustarse a la norma internacional ISO 14469 y sólo permitirá el paso del gas cuando el acoplamiento entre el conector y la boca de carga sea el adecuado.

El surtidor ha de tener incorporado un sistema de recuperación de vapores que actúe al desconectar los acoples.

7.2.3 Venteos

Tendrán que estar a una altura mínima de 3 m al aire libre.

7.2.4 Valvulería

Se va a establecer una presión entre el 10 % y el 15 % superior a la presión máxima de operación efectiva para el disparo de las válvulas de seguridad. Estas válvulas van a situarse a la salida de los compresores y del almacenamiento.

A la entrada de los compresores se colocará una válvula de corte automático. Esta válvula se encarga de cerrarse frente a cualquier fallo del sistema y caída de tensión. Aguas arriba, se colocará una válvula manual. Los pulsadores de emergencia accionarán las válvulas automáticas.

7.2.5 Sistemas de corte en caso de emergencia

En caso de emergencia se van a colocar pulsadores del tipo seta que van a cortar el suministro de gas a los compresores, almacenamiento y llenado. Estos pulsadores van a estar situados en los compresores, en el cuadro eléctrico y en el dispensador.

7.3 Cumplimiento de la Normativa Ambiental

Según la LEY 2/2002 de 19 de junio de Evaluación de Impacto Ambiental de la Comunidad de Madrid, se clasifica la actividad realizada en las instalaciones, según el Anexo IV punto 11:

Almacenamiento de gas natural sobre el terreno. Tanques con capacidad unitaria superior a 200 toneladas.

La estación no supera los límites establecidos por lo que no requerirá de ninguna Autorización Ambiental Unificada para este proyecto.

Según la LEY 34/2007 de 15 de noviembre de calidad del aire y protección de la atmósfera, esta actividad como se indica en el anexo IV se considera potencialmente contaminadora de la atmósfera:

-(05 04) Distribución de combustibles líquidos (excepto distribución de gasolina)

-(05 04 02) Otras manipulaciones y almacenamientos (incluido transporte por tubería)

No obstante al no pertenecer estas actividades a los grupos A, B o C no hará falta pedir una autorización administrativa ni notificarla al órgano competente de la Comunidad Autónoma, según el Artículo 13, quedando abiertos a responder o aportar la documentación que se requiera, en caso de que éste lo considere oportuno.

Por último mencionar que no se utiliza agua en ningún momento del proceso productivo ni se genera otro tipo de residuo.

7.4 Cumplimiento de la Ordenanza sobre Protección Acústica y Vibratoria

Se aplica el Decreto 78/1999 de 27 de mayo de la Comunidad de Madrid (actualizado a abril de 2009).

La actividad va a tener un porcentaje de contaminación acústica casi nulo. Los elementos que pueden generar ruido y vibraciones en la planta son las dos bombas criogénicas y el pequeño compresor de gas. Estas vibraciones son eliminadas con soportes antivibratorios que incorporan los equipos que garantizan el funcionamiento óptimo de la instalación.

Se trata de una actividad situada en una parcela aislada, lejos de zonas habitadas, por lo que cualquier afección sobre la vecindad es nula y por consiguiente no se superan los límites de emisión en horario diurno y nocturno establecidos por dicho decreto.

La bomba criogénica centrífuga no emite apenas ruido al encontrarse sumergida en un recipiente de 6 mm de acero inoxidable lleno de GNL. A su vez, éste dispone de un cuerpo externo de 8 mm del mismo material y de un sistema de aislamiento tipo *superinsulation* + vacío de 100 mm de espesor.

7.5 Riesgo de incendio, deflagración o explosión

7.5.1 Accesibilidad equipos de extinción

Los contenedores de equipos están en el exterior sobre una isleta y alrededor hay suficiente espacio para el acceso y la maniobra de los bomberos y los equipos de extinción.

7.5.2-Cumplimiento de la normativa contra incendios

A menos que el órgano de la administración lo requiera explícitamente, no se considera aplicable el reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales por disponer estos tipos de instalaciones de reglamentación que ya especifica las condiciones que deben cumplir y las dotaciones de equipos contra incendios a instalar.

Según la Norma UNE 60210:2001 de plantas satélite de GNL, se deben instalar extintores de polvo seco en proporción de 10 kg por cada 1000 kg de producto, con un mínimo de 2 kg en dos extintores. El máximo volumen de gas almacenado es de 56 948 l (llenado máximo al 95 %) que corresponden a 25 626 kg (densidad GNL 0,440 kg/l). Por tanto, será necesario tener un mínimo de 250 kg de polvo seco.

Con eso, se instalarán 5 extintores de polvo ABC de 50 kg cada uno para la zona de almacenamiento y carga de GNL. Estos extintores serán de carro y se dispondrán de la siguiente manera:

- Un extintor en cada una de las puertas de acceso al cubeto donde se ubican el tanque de GNL y los *skid* de montaje.

- Dos extintores dentro del cubeto.

- Un extintor en la zona de carga y descarga del tanque.

Según la Norma UNE 60631-1:2008 de estaciones de servicio de GNC para vehículos a motor, se deberán instalar los siguientes extintores:

- Un extintor portátil de polvo ABC cada 10 m en la zona de los dispensadores.

- Un extintor de CO2 en el cuadro eléctrico.

- Un extintor portátil de polvo ABC en la puerta del contenedor de GNLC (compresión y almacenamiento).

En un lugar visible, se expondrá un cartel en el que se indique la prohibición de fumar, encender fuego o repostar con las luces encendidas o el motor del vehículo en marcha.

En la puerta de la sala eléctrica se ha instalado una luz de emergencia. El alumbrado de emergencia estará compuesto por luminarias con lámparas fluorescentes de 6 W y 200 lúmenes, como mínimo, con una autonomía de 1 h.

7.6 Seguridad de utilización, laboral y otros riesgos colectivos

Además de cumplir con lo establecido en la Norma UNE60631-12008, se establecen a nivel de diseño medidas a llevar a cabo en el caso de que haya un paro de emergencia o rotura de manguera.

7.6.1 Paros de emergencia

La planta cuenta con paros de emergencia que detienen inmediatamente el funcionamiento de la instalación. En esta situación, tendrá que ser manualmente la forma en que se reanude el funcionamiento de la estación.

De la misma manera ocurre si se detecta un caudal de gas excesivamente alto en la línea de suministro, se produce el paro automático de toda la instalación (dispensadores y bombas).

7.6.2 Rotura de manguera

La manguera lleva incorporada un dispositivo que, a modo de fusible corta el suministro en el caso de que el vehículo haya iniciado la marcha antes del desacople de la misma.

7.7 Distancias de seguridad

7.7.1 Equipos

La disposición de los equipos se ha realizado teniendo en cuenta las distancias de seguridad que marca la tabla I de la UNE 60631-1:2008:

-Las distancias entre surtidor de GNC y surtidores de otros combustibles se debe determinar según el cumplimiento de los requisitos de las áreas clasificadas generadas por cada uno de los surtidores.

-Instalación almacenamiento – Instalaciones almacenamiento de otros combustibles (5m).

-Instalación de almacenamiento – Surtidores de otros combustibles (5m).

-Instalación de almacenamiento – Aberturas de edificios (3m).

-Compresor – Aberturas de edificios (3m).

7.7.2 Elementos

Por otra parte, las distancias de seguridad que marca la tabla I de la UNE60212:2011 respecto del depósito criogénico son las siguientes:

-Aberturas de inmuebles, sótanos, alcantarillas o desagües (15m)

- Motores, interruptores (no antideflagrantes), depósitos de materiales inflamables (15m)
- Proyección líneas eléctricas (15m)
- Límite de propiedad, vías públicas, carreteras, ferrocarriles (15m)
- Llamas controladas (15m)
- Aberturas de edificios de uso docente, sanitario, etc. (30m)

7.8 Áreas clasificadas

En las zonas clasificadas no deben existir fuegos abiertos (no se considerarán los vehículos) cuya temperatura superficial supere los 450 °C.

No se consideran zonas clasificadas las tuberías y accesorios soldados, así como las válvulas con un diámetro igual o inferior a 1" sin salida libre a la atmósfera. Todos los elementos al aire libre que puedan dar lugar a fugas, como uniones no soldadas, pequeñas conducciones con juntas roscadas o uniones mecánicas, etc., generarán una esfera de zona 2 de 1 m de radio. Las válvulas de seguridad de caudal igual o inferior a 50 m³(n)/h generarán en su escape una esfera de zona 2, de 3 m de radio y centro el punto de la salida del gas. Las válvulas de seguridad de caudal igual o superior a 50 m³(n)/h generarán en su escape un cilindro vertical de zona 2, con límite inferior a 4,5 m del punto de salida y límite superior a 8 m del punto de la salida del gas.

7.8.1 Instalación de compresión y almacenamiento

El interior de la cabina de los equipos de compresión y almacenamiento se considerará zona 1. Cualquier abertura al exterior generará una zona clasificada hacia el exterior de zona 2 independiente de la clasificación interior con un radio máximo de 2 m.

7.8.2 Dispensadores

Ya que el dispensador no contiene en su interior elementos que puedan dar lugar a fugas y no tiene venteo in situ, sino que es conducido a zona segura, el dispensador no genera ninguna zona clasificada.

7.8.3 Colector de venteos

El colector de venteos de caudal inferior a $50 \text{ m}^3(\text{n})/\text{h}$ generará en su escape una esfera de zona 2, de 3 m de radio y centro el punto de salida del gas. Para el resto de venteos se generará en su escape una esfera de zona 1, de 3 m de radio y centro el punto de salida del gas y otra de zona 2 hasta los 5 m.

7.9 Agua potable

No se utiliza en ningún momento del proceso agua potable para el funcionamiento de la estación.

8 Ejecución de la obra y puesta en servicio

8.1- Calificación de la actividad

Según el Decreto 2414/1961, Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas (RAMINP), la actividad que se desarrollará en la estación de servicio de GNC y GNL se catalogaría como *estaciones de servicio para transportes por carretera* recibiendo la calificación de actividad peligrosa.

Actualmente, el RAMINP ha sido derogado por la LEY 34/2007 de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.

8.2-Descripción obra

La obra (Fig. 13) comprende las siguientes partes:

- Levantamiento de un cubeto donde van a ir instalados los equipos de esta planta.
- Montaje de un tanque criogénico de 60 m³ dentro del cubeto.
- Emplazamiento de dos skids donde se instalarán los equipos de compresión y almacenamiento de GNC y GNL, dentro del cubeto.
- Construcción de una caseta de hormigón prefabricado que albergará los cuadros de protección, además de situar los equipos de control necesarios para la estación. Este contenedor se situará fuera del cubeto.
- Instalación de un dispensador de GNC con dos mangueras de carga con boquillas tipo NGV-1 y recuperación de venteos.
- Instalación de un dispensador de GNL con una manguera de carga JC Carter de 1" y la otra tipo Macrotech de ½", en la acera que bordeará el cubeto.
- Instalación de un vaporizador ambiental vertical para gasificar el GNL, dentro del cubeto.
- Instalación de un pequeño acondicionador ambiental para la línea de GNL, dentro el cubeto.
- Construcción de zanjas diversas para el paso de tuberías y cableado enterrado.

- Construcción de una acera perimetral al cubeto donde se ubicará el dispensador de GNL.

8.3-Pruebas y puesta en servicio

8.3.1-Prueba de resistencia mecánica

Se someterá a una prueba hidráulica de resistencia mecánica de 1,5 veces la presión máxima de operación efectiva y de una duración no inferior a 6 h todas las partes de la instalación de gas cuya presión máxima de operación efectiva sea superior o igual a 4 bar.

No se incluirán en esta prueba los elementos y componentes que, disponiendo del certificado de pruebas correspondiente, puedan sufrir daño o deterioro durante la misma, así como las tuberías y accesorios de interconexión de la instalación que hayan sido previamente verificadas y probadas en los talleres del fabricante para la presión de diseño.

8.3.2-Prueba de estanqueidad

Se realiza una prueba de estanqueidad de acuerdo con la Norma 60620-2.

8.3.3-Puesta en frío

Antes de utilizar por primera vez el tanque se va a realizar una puesta en frío con nitrógeno N₂ a -196°C. Tiene la función de verificar el correcto funcionamiento y comportamiento del depósito utilizando un gas inerte no peligroso.

8.4-Explotación

El propietario de la estación deberá poseer la siguiente documentación:

-Manual de operación: con la descripción de todas las operaciones que garanticen la correcta explotación de las instalaciones.

-Manual de mantenimiento: con la descripción de todos los elementos de la instalación y las operaciones de mantenimiento previstas y el modo de subsanar averías.

-Plan de emergencia: en él se indicará el modo de actuar en caso de que se presenten peligros para la integridad física de las personas y/o instalaciones.

-Legalización de la estación de servicio de GNC y GNL.

-Libro de intervenciones de la estación.

En ningún sito de la instalación de almacenamiento y compresión podrá almacenarse ningún aparato ni material que no sea estrictamente necesario para el funcionamiento y mantenimiento del recinto.

Durante las operaciones de repostaje no se permite mantener los vehículos en marcha.

En las zonas de seguridad delimitadas está prohibido fumar o encender fuego.

8.5-Mantenimiento y pruebas periódicas

Cada 4 años se realizará una prueba de estanqueidad con gas a la presión de operación y durante una hora como mínimo para verificar la ausencia de fugas.

Todos los componentes de la instalación se deben someter a las pruebas periódicas indicadas en la reglamentación que les afecte. En el caso de ventear grandes cantidades de gas durante las operaciones de mantenimiento, éste deberá reaprovecharse o quemarse. Regularmente se realizará una inspección visual a la manguera de los dispensadores para garantizar que no ha sufrido deterioro por roce o torsión.

Cada año se verificará la ausencia de fugas mediante agua jabonosa o procedimiento similar. Si apareciera alguna fuga se sustituirá la manguera. El fabricante indicará la vida útil de la manguera, que en ningún caso superará los 10 años.

8.6-Planificación

Se muestra en la **Tabla 11** la planificación temporal esperada de la obra.

Tabla 11: Planificación de la obra

PARTIDA	DURACIÓN	RECURSOS
1: Preliminares (replanteo, vallado obra, caseta obra...)	2 días	3 operarios
2: Obra civil (cimentaciones, cubeto, marquesina,	18 días	3 operarios

PARTIDA	DURACIÓN	RECURSOS
zanjas...)		
3: Montaje equipos principales (tanque, casetas, surtidores...)	7 días	4 operarios
4: Montaje mecánico instalación (tuberías...)	12 días	2 operarios
5: Montaje eléctrico instalación (cuadros, cableado, control...)	9 días	2 operarios
6: Montaje instalaciones auxiliares (aire comprimido...)	3 días	2 operarios
7: Legalización (trámites ayuntamiento, industria...)	25 días	1 ingeniero
8: Puesta en marcha (pruebas, inspecciones, puesta en frio, arranque equipos, pruebas suministro...)	10 días	4 operarios 1 ingeniero
TOTAL DÍAS	86 días	
TOTAL HORAS TRABAJO	211 horas	
TOTAL SEMANAS (con simultaneidad de operaciones)	10 semanas	

BIBLIOGRAFÍA

Referencias electrónicas

-www.fundaciongasnaturalfenosa.org

-www.eia.gov

-www.iangv.org

-investopedia.com

-lngbc.eu

-ec.europa.eu

-www.cleanairpower.com

-www.ngvaeurope.eu

-www.hylokusa.com

-www.parker.com

-www.swagelok.com

-www.vanzetiiengineering.com

-cryonorm.com

Normativa aplicable

Instalación de gas natural

-Real Decreto 919/2006, de 28 de julio, Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias: - ITC ICG 04 Plantas satélite de gas natural licuado (GNL) – ITC ICG 05 Estaciones de servicio para vehículos a gas, - ITC ICG 07 Instalaciones receptoras de combustibles gaseosos, - ITC ICG 11 Relación de normas UNE de referencia.

-Norma UNE 60631-1: Estaciones de servicio de GNC para vehículos a motor. Parte 1: estaciones de capacidad de suministro superior a 20 m³/h.

-Norma UNE 60210:2011: Plantas satélite de gas natural licuado (GNL).

-Norma UNE-EN 13645: Instalaciones y equipamiento para gas natural licuado. Diseño de instalaciones terrestres con capacidad de almacenamiento comprendida entre 5 t a 200 t.

-Norma UNE 60620:2005: Instalaciones receptoras de gas natural para usos industriales a una presión máxima de operación (MOP) superior a 5 bar.

-Norma UNE 1063:2000: Caracterización de tuberías según materia de paso.

-Norma UNE-EN 12517-1:2006: Ensayo no destructivo de uniones soldadas. Parte 1: Ensayo radiográfico de uniones soldadas de acero, níquel, titanio y sus aleaciones. Niveles de aceptación.

-Norma UNE-EN 287-1:2004: Calificación de soldadores. Soldeo por fusión. Parte 1: Aceros.

-Norma UNE-EN 1333:2006: Bridas y sus uniones. Componentes de canalizaciones de tuberías. Definición y selección de PN.

-Norma UNE 23727:1990: Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Clasificación de los materiales utilizados en construcción.

-Norma UNE 60309:1983: Canalizaciones para combustibles gaseosos. Espesores mínimos para tuberías de acero.

-Norma UNE-EN 12480:2003: Contadores de gas de desplazamiento rotativo.

Aparatos a presión

-Real Decreto 2060/2008, 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.

-Real Decreto 769/1999, de 7 de mayo, aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, 97/23/CE, relativa a los equipos de presión.

Instalación eléctrica

-Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto. Reglamento electrónico para baja tensión y sus instrucciones técnicas complementarias.

-UNE-EN 60079-10: Material eléctrico para atmósferas de gas explosivas. Parte 10: Clasificación de emplazamientos peligrosos.

-UNE-EN 50018: Material eléctrico para atmósferas potencialmente explosivas. Envoltente antideflagrante “d”.

Edificación

-Real Decreto 314/2006, de 17 de Marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

Carreteras

- Real Decreto 1812/1994, de 2 de Septiembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Carreteras.

Urbanismo

- Plan General de Ordenación Urbana de San Sebastián de los Reyes: Área predominantemente terciaria-dotacional programada por el PGOU'85 ordenada, urbanizada y equidistribuida en el desarrollo del Plan.

Actividad y medioambiente

- Ley 7/2007, de 9 de Julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA
Titulación: **INGENIERÍA DE MINAS**

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y
COMBUSTIBLES

**ESTACIÓN DE SERVICIO DE GAS
NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO
PARA VEHÍCULOS**

DOCUMENTO N° 2: ESTUDIO ECONÓMICO

1 Presupuesto

El presupuesto total de la inversión es de 700 000 € y está dividido en diferentes partidas: obra civil (**Tabla 12**), equipos instalación (**Tabla 13**), montaje mecánico (**Tabla 14**), electricidad y control (**Tabla 15**), instalaciones auxiliares (**Tabla 16**), gestión de residuos (**Tabla 17**) y otros gastos (

Tabla 18).

Tabla 12: Obra civil

OBRA CIVIL		Cantidad	Coste €	Total €
Bancadas skids	m ²	35,10	256,25	8 994,38
Cubeto	m ²	76,00	256,25	19 475,00
Vallado perimetral cubeto	m	28,00	60,00	1 680,00
Puerta metálica acceso cubeto 1,00 m x 1,50 m	Ud	2,00	350,00	700,00
Escalera acceso cubeto	Ud	3,00	525,00	1 575,00
Acera cubeto	m	93,00	220,00	20 460,00
Sistema sifónico evacuación aguas cubeto	Ud	1,00	1 550,00	1 550,00
Cimentación tanque criogénico 60 m ³	m ²	16,00	678,00	10 848,00
Caseta de hormigón prefabricado	m ²	35,10	240,00	8 424,00
Zanja tipo 1 L (líneas gas soterrada)	m	197,00	68,36	13 466,92
				65 282,38

Tabla 13: Equipos de instalación

EQUIPOS INSTALACIÓN		Cantidad	Coste €	Total €
Depósito almacenamiento GNL 60 m ³	Ud	1,00	1,00	51 890,00
Bomba criogénica sumergida	Ud	1,00		1 500
Bomba criogénica de pistones	Ud	1,00		2 000
Surtidores GNL y GNC	Ud	2,00	1 921,50	3 843,00

EQUIPOS INSTALACIÓN		Cantidad	Coste €	Total €
Vaporizador ambiental alta presión	Ud	1,00		4 000
Compresor	Ud	1,00		2 000
Depósito de <i>boil-off</i>	Ud	1,00		2 500
Odorizador alta/baja presión	Ud	1,00		500
Vaporizador depósito boil-off	Ud	1,00		700
Vaporizador línea GNL	Ud	1,00		600
Racks botellas almacenamiento GNC	Ud	2,00		1 200
				70 733,00

Tabla 14: Montaje mecánico

MONTAJE MECÁNICO		Cantidad	Coste €	Total €
Líneas GNC con racores de alta presión:	m	42,00	83,66	3 513,51
Líneas de GNL aéreas soldadas de ½"	m	22	120,13	2642,86
Líneas de GNL aéreas soldadas de 1"	m	51,00	175,50	8 950,50
Líneas de GNL aéreas soldadas de 2"	m	46,00	94,50	4 347,00
Líneas de GNC con multitubo	m	23,00	143,25	3 294,82
Montaje mecánico dentro de casetas (todos los equipos)	m ²	35,10	166,50	5 844,15
				28 592,84

Tabla 15: Electricidad y control

ELECTRICIDAD Y CONTROL		Cantidad	Coste €	Total €
Cuadro de distribución de estación tipo II	Ud	1,00	9 495,00	9 495,00
Interruptor tetrapolar 400 V / 63 A	Ud	4,00	112,50	450,00
Interruptor tetrapolar 400 V / 125 A	Ud	1,00	483,75	483,75
Línea de alimentación RZ1-K 1 x 16 mm ²	m	52,00	2,93,00	152,10

ELECTRICIDAD Y CONTROL		Cantidad	Coste €	Total €
Línea de alimentación RZ1MZ 1 x 16 mm ²	m	25,00	3,29	82,13
Línea de alimentación RZ1-K 1 x 25 mm ²	m	75,00	3,74	280,13
Línea de alimentación RZ1MZ 1 x 50 mm ²	m	70,00	3,91	273,42
Línea de control	m	88,00	7,74	681,12
Sistema de parada de emergencia	PA	1,00	1 008,00	1 008,00
Conexión de puesta a tierra	PA	1,00	252,00	252,00
Toma de corriente monofásica	Ud	14,00	58,50	819,00
Analizador de red	Ud	1,00	505,80	505,80
PC para control de la estación	Ud	1,00	1 035,00	1 035,00
Sistema de comunicación de operación remota	Ud	1,00	3 078,00	3 078,00
Sistema Alimentación Interrumpida(SAI)	Ud	1,00	4 465,80	4 465,80
Sistema de telegestión de eficiencia energética	Ud	1,00	9 470,70	9 470,70
Electrónica de adaptación a sistema Tokheim	Ud	1,00	715,50	715,50
				33 247,00

Tabla 16: Instalaciones auxiliares

INSTALACIONES AUXILIARES		Cantidad	Coste €	Total €
Red de venteos	m	195,00	34,20	6 669,00
Red de drenajes	m	78,00	33,75	2 632,50
Estación de aire comprimido tipo 1	Ud	1,00	4 230,00	4 230,00
Red de aire comprimido	m	568,00	27,00	15 336,00
Sistema contra incendios y de emergencia	PA	1,00	1 345,5	1 345,850
				30 213,00

Tabla 17: Gestión de residuos

GESTIÓN DE RESIDUOS		Cantidad	Coste €	Total €
Gestión residuos de la obra en la construcción	Ud	1,00	222,50	222,50
				222,50

Tabla 18: Otros gastos

OTROS GASTOS	Precio €
Terreno Licencias Tributos Impuestos Mantenimiento Servicios Desmantelación Otros...	
	471 709,28

2 Sensibilidad

Para realizar el cálculo de la sensibilidad de nuestro proyecto vamos a trabajar sobre una hipótesis base (**Tabla 19**) previsible en el tiempo.

Tabla 19: Hipótesis base

Márgen de contribución (€/kg)	0,135
Nº camiones (día)	11
Depósito camión (kg/carga)	279,5
Inversión (€)	700 000
Amortización (años)	20
Gastos mantenimiento anual (€)	1 000
Resto gastos mensuales (€)	2 500
Impuesto de sociedades (%)	30
Incremento de gastos IPC (%)	0 %
Incremento anual del margen (%)	0 %

En la tabla vienen reflejados los gastos e ingresos previsible que va a tener nuestra planta a lo largo de su vida útil. De esta forma se calcula el beneficio neto anual previsible de la siguiente manera:

Margen de contribución: M (€/kg)

$$M = (0,135 + V_m) \frac{\text{€}}{\text{kg}} \cdot (11 + V_c) \frac{\text{camiones}}{\text{día}} \cdot 279,5 \frac{\text{kg}}{\text{camiones}} \cdot 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \cdot (1 + I_m + V_{pp}) \%$$

donde:

V_m : variación del margen de contribución (€/kg)

V_c : variación de la demanda (camiones/día)

I_m : incremento anual margen de contribución (%)

V_{pp} : variación del índice de precios del petroleo (%)

Gastos fijos: G (€/año)

$$G = \left(\left(\left(2500 \frac{\text{€}}{\text{mes}} \right) \times 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} \right) + 1000 \frac{\text{€}}{\text{año}} \right) \times (1 + V_{IPC}) \%$$

V_{IPC} : variación del índice de precios de consumo (%)

Dotación a la amortización: D_a (€/año)

La vida útil de la planta es de 20 años y la inversión asciende a 700 000 € por lo que la amortización será igual a $(700\,000/20) = 35\,000 \text{ €/año}$

Gastos financieros G_f (€)

La inversión es de 700. 000 la planta de se irá pagando a razón de 35 000 € anuales.

Impuesto de sociedades I_s (%)

El impuesto de sociedades es del 30 % y se le aplica directamente al beneficio.

BENEFICIO NETO

$$BN = (M - G - D_a - G_f) \times I_s$$

$$BN_{\text{hipótesis base}} = 35\,347,19 \text{ €}$$

2.1 Análisis de sensibilidad

A continuación se muestra en gráficas, la variación del beneficio neto en 20 años suponiendo un cambio en las variables.

Variación del margen de contribución

Para este caso nos fijamos en la (**Figura 46**) que al aumentar el margen de contribución manteniendo las demás variables constantes vamos a tener un incremento lineal de los

beneficios debido al aumento de los ingresos.

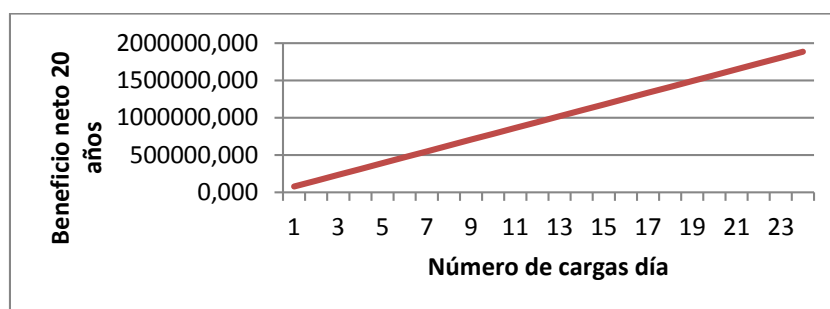


Figura 46: Variación del margen de contribución

Variación del número de camiones día

Si aumentamos el número de camiones que van a repostar al día manteniendo las demás variables constantes, repercute directamente en un aumento de nuestros ingresos (**Figura 47**).

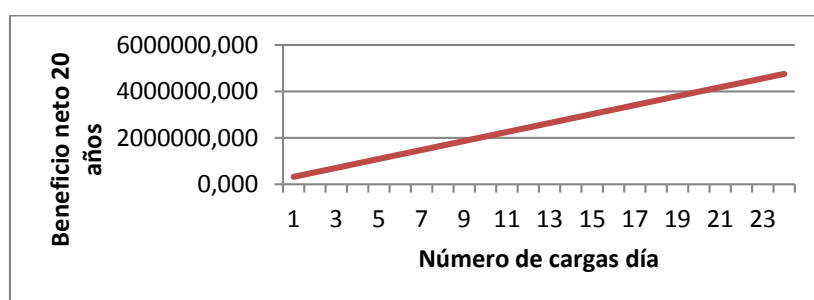


Figura 47: Variación del número de camiones día

Variación IPC

La variación del IPC (**Figura 48**) por el contrario repercute únicamente en nuestros gastos y de esta forma nuestros ingresos serán cada vez menores. En este caso deberíamos aumentar nuestro margen de contribución para contrarrestar la subida de IPC.

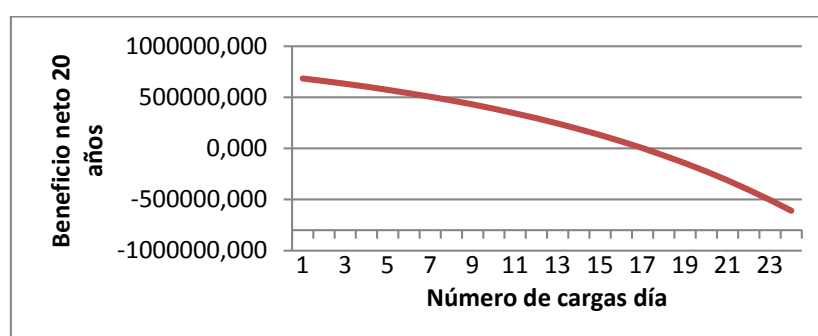


Figura 48: Variación IPC

Variación índice de precios del petróleo

En la (**Figura 49**) se observa que hay un aumento de ingresos. Al mantener el margen de contribución constante quiere decir que es el cliente el que va a pagar la subida de precios del petróleo y éste es el motivo de dicho aumento.

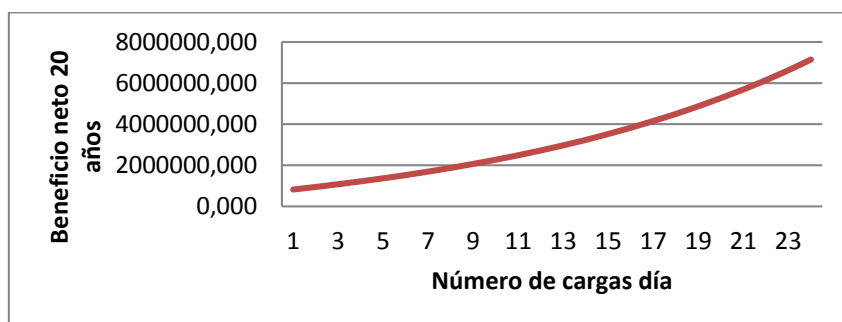


Figura 49: Variación índice de precios del petróleo

3 Rentabilidad

Para el cálculo de la rentabilidad se calculan el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno).

El TIR representa el tipo de interés de la planta, esto es, el tipo de interés que hace el VAN cero. Este resultado implica que mi beneficio actual neto es igual a la inversión realizada más el tipo de interés de la planta.

Vamos a realizar el cálculo de sensibilidad del VAN y TIR variando el número de camiones.

VAN: Valor Actual Neto

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

TIR: Tasa Interna de Retorno

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k=TIR)^t} - I_0 = 0$$

donde:

V_t : flujos de caja anual= BN + amortización

k : tipo de interés

t: número de años

I_0 : inversión: (700 000 €)

n: 20 años

El cálculo de los flujos de caja se obtiene sumando el beneficio neto y la amortización y el cálculo del TIR y el VAN se obtiene mediante Excel.

TIR

Se observa que el TIR aumenta linealmente con la demanda. Al aumentar el número de camiones aumentan los ingresos y el tipo de interés es cada vez mayor manteniendo las demás variables constantes como se muestra en la (**Figura 50**).



Figura 50: Sensibilidad del TIR al número de cargas al día

VAN

Para el caso de esta planta se supone un tipo de interés del 6 %. Como se puede observar en la (**Figura 51**) para 10 camiones el tipo de interés coincide con el TIR, punto en el que el VAN se hace nulo y a partir de entonces punto va incrementado lógicamente al aumentar la demanda para un interés del 6 %.

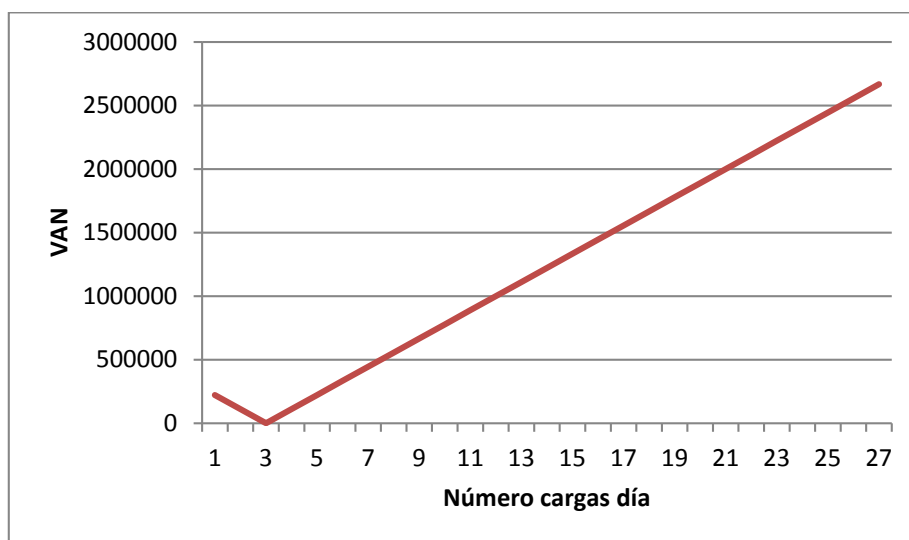


Figura 51: Sensibilidad del VAN al número de cargas al día

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA
Titulación: **INGENIERÍA DE MINAS**

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y
COMBUSTIBLES

**ESTACIÓN DE SERVICIO DE GAS
NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO
PARA VEHÍCULOS**

DOCUMENTO N° 3: PLANOS

1 Situación

2 Parcela

3 Emplazamiento de la parcela y existencias

4 Intervención 1

5 Intervención 2 - Dimensiones

6 Intervención 3 – Elementos y secciones

7 Radio de giro camión GNC

8 Radio de giro camión GNL

9 Distancias de seguridad

10 Descarga GNL – Camión cisterna

11 Instalación mecánica 1

12 Instalación mecánica 2

13 Instalación eléctrica y neumática

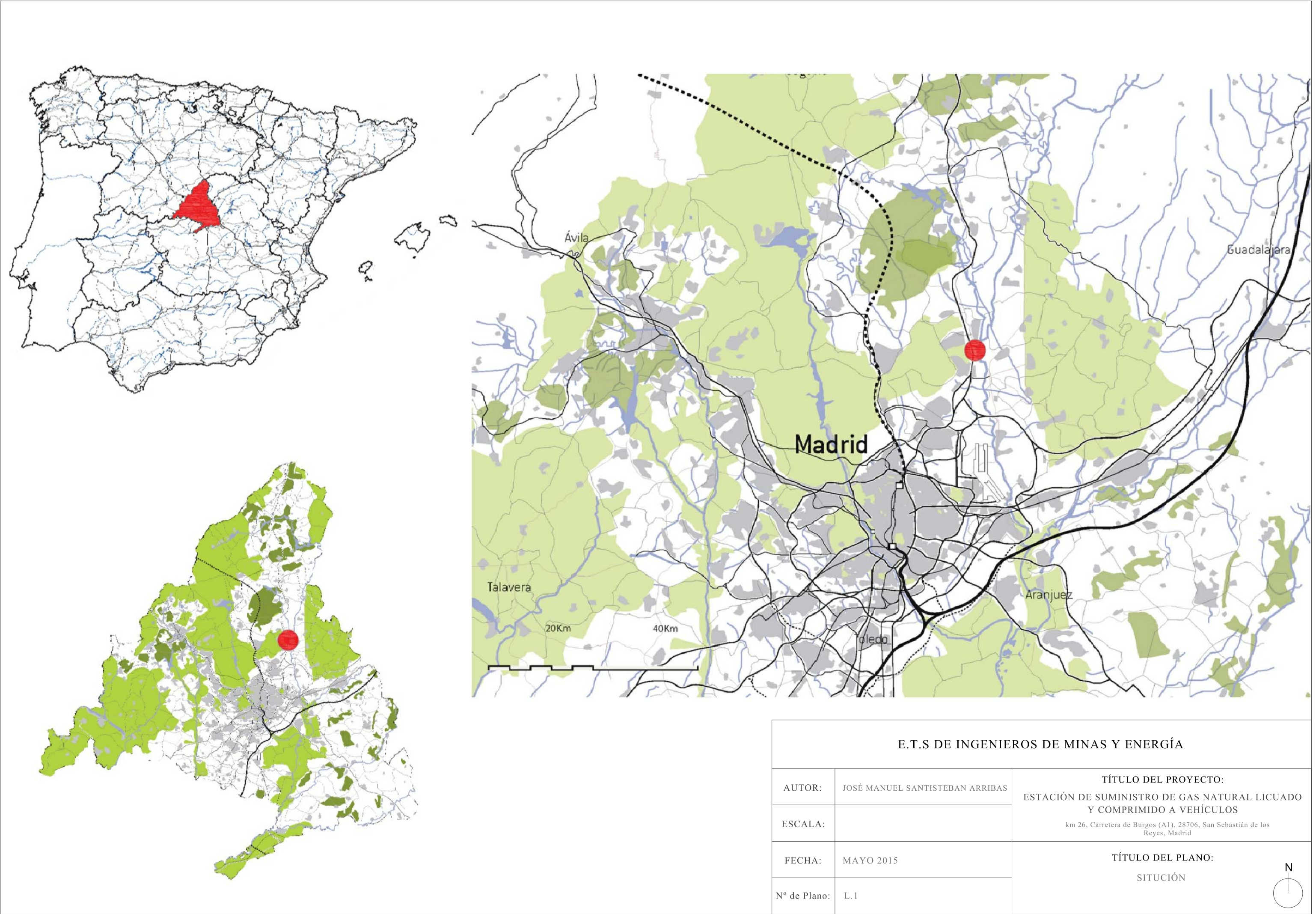
14 Instalación contra incendios

15 Secciones 1 y 2

16 Secciones 3 y 4

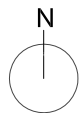
17 Equipos

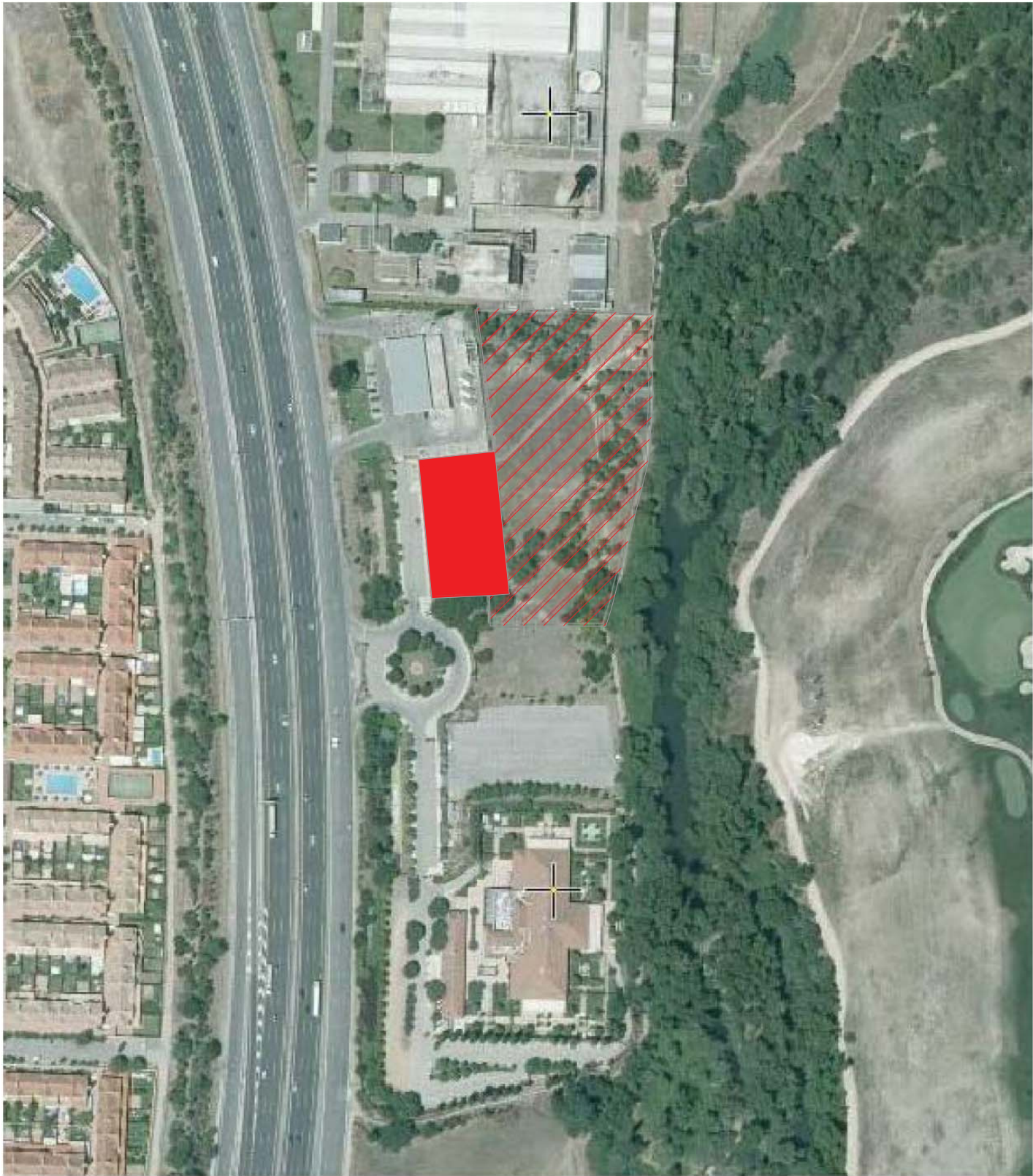
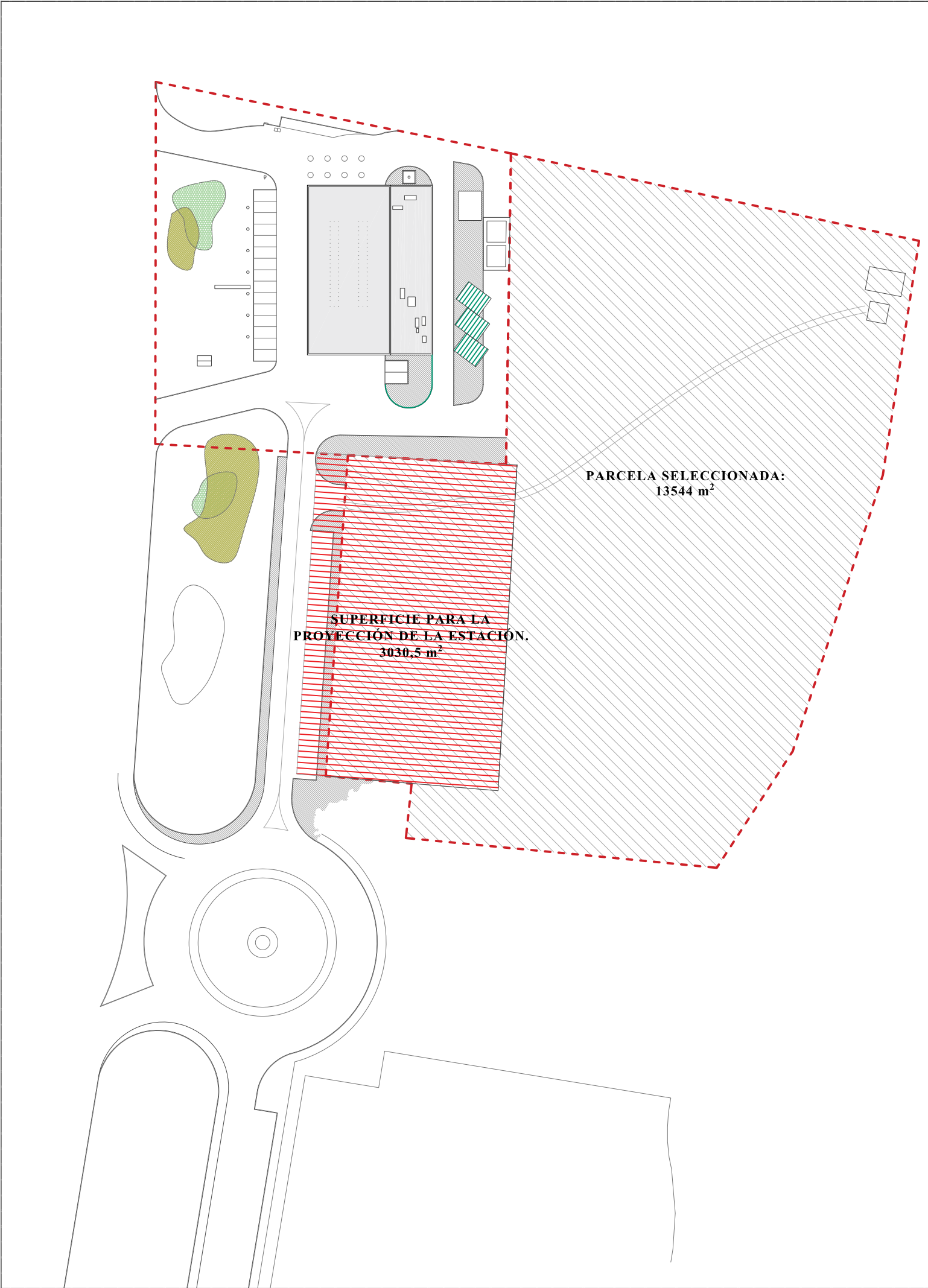
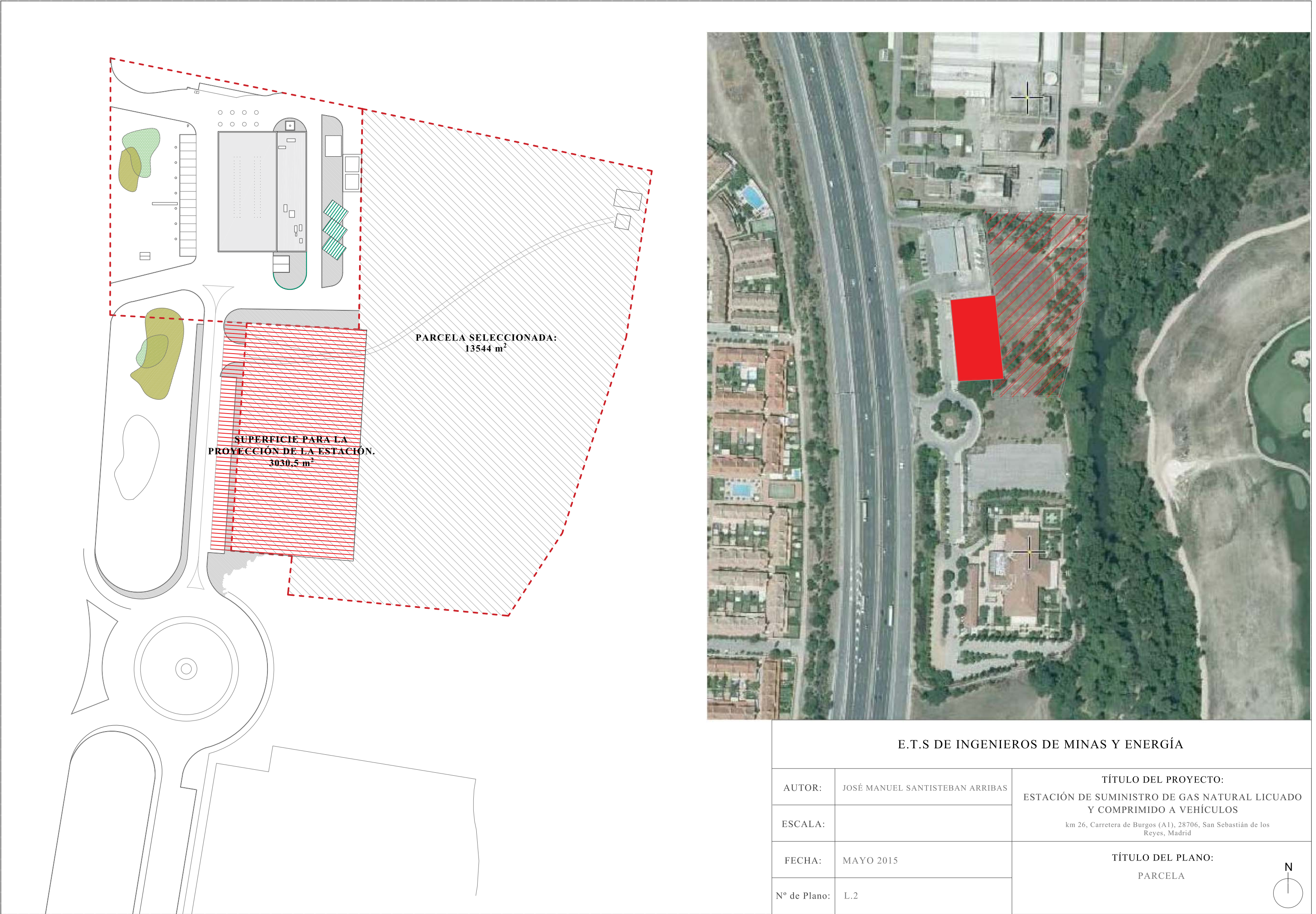
18 Diagrama de flujo



E.T.S DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

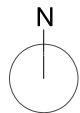
AUTOR:	JOSÉ MANUEL SANTISTEBAN ARRIBAS	TÍTULO DEL PROYECTO: ESTACIÓN DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO A VEHÍCULOS km 26, Carretera de Burgos (A1), 28706, San Sebastián de los Reyes, Madrid
ESCALA:		
FECHA:	MAYO 2015	TÍTULO DEL PLANO: SITUACIÓN
Nº de Plano:	L.1	

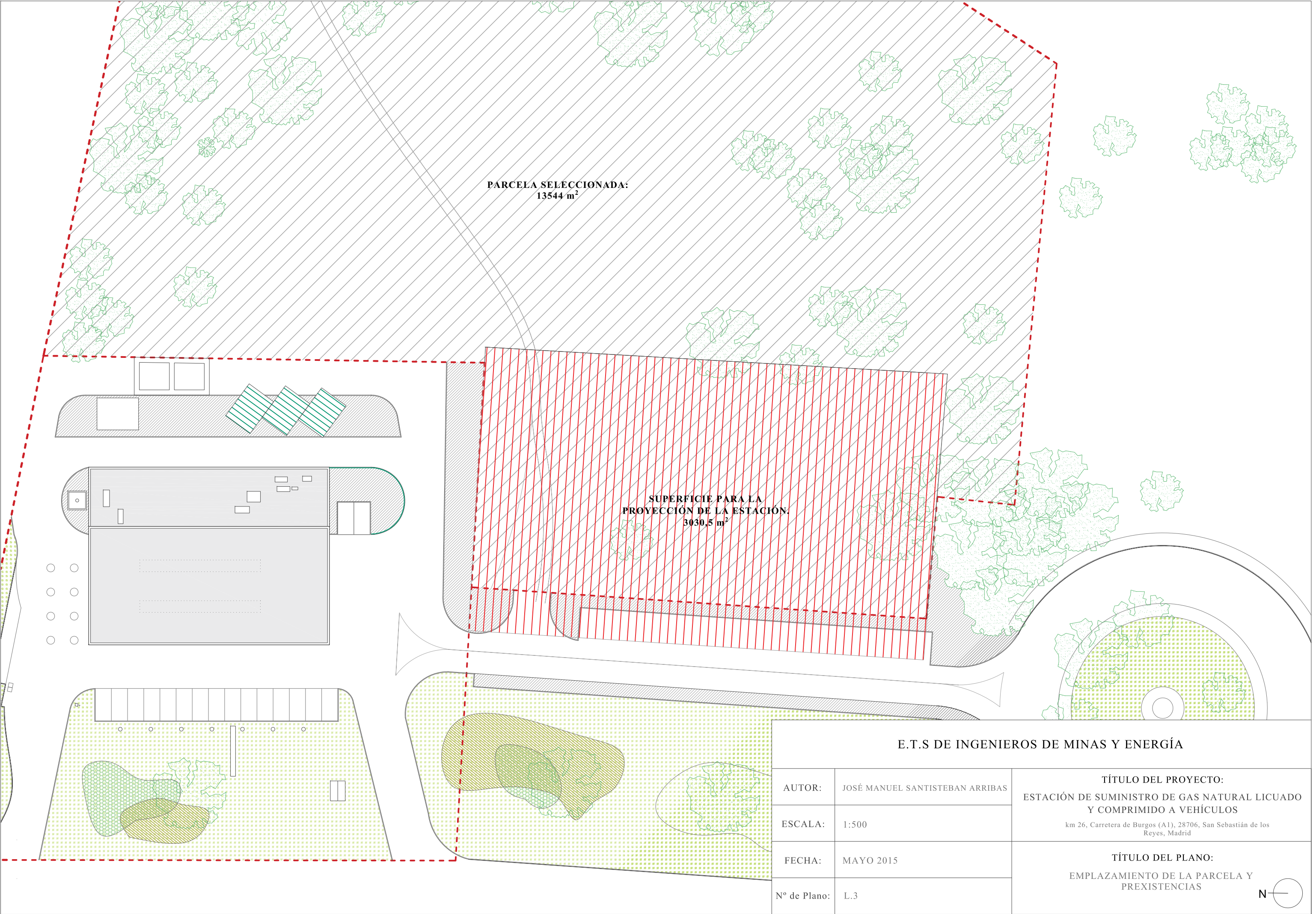




E.T.S DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

AUTOR:	JOSÉ MANUEL SANTISTEBAN ARRIBAS	TÍTULO DEL PROYECTO: ESTACIÓN DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO A VEHÍCULOS km 26, Carretera de Burgos (A1), 28706, San Sebastián de los Reyes, Madrid
ESCALA:		
FECHA:	MAYO 2015	TÍTULO DEL PLANO: PARCELA
Nº de Plano:	L.2	





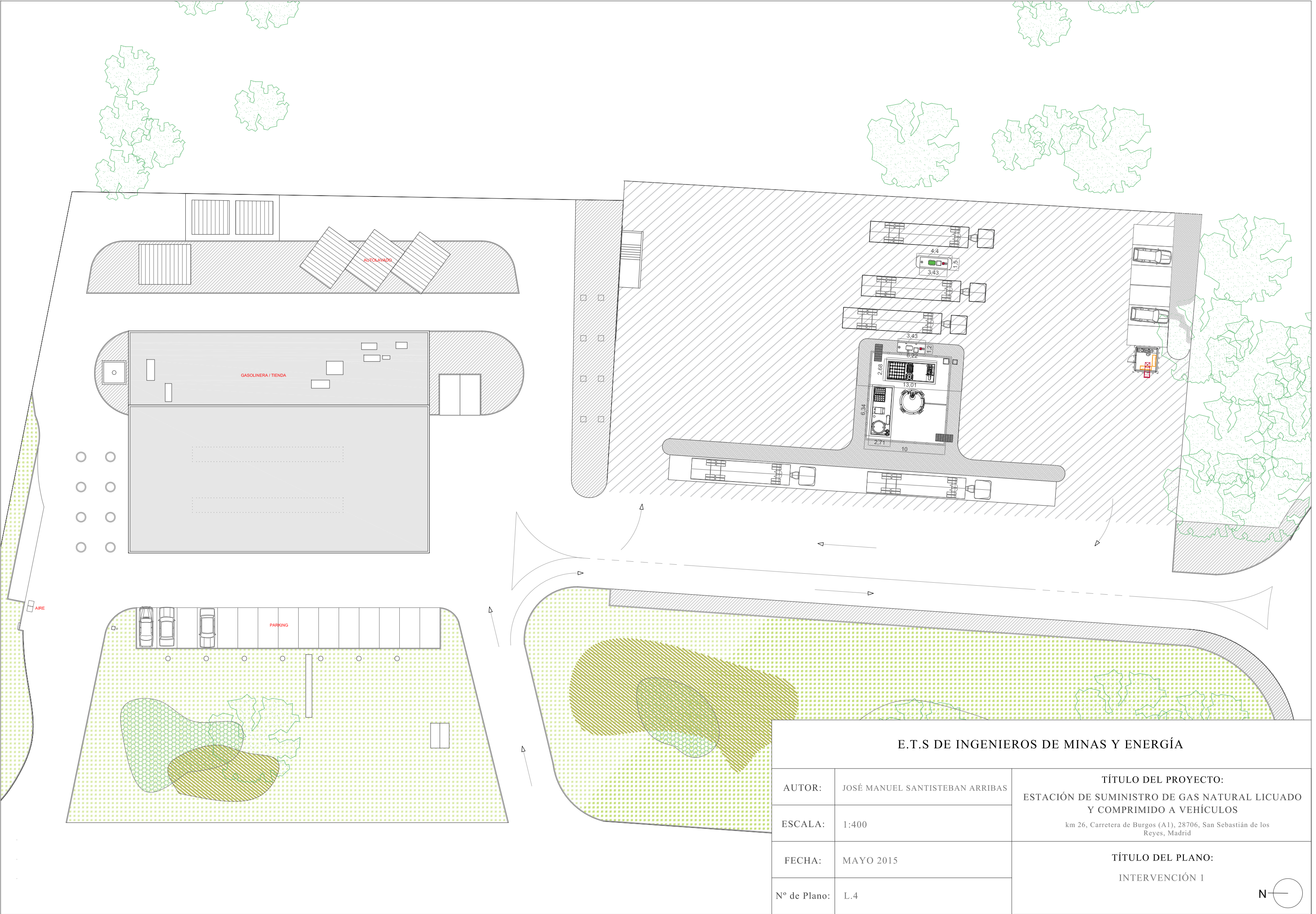
PARCELA SELECCIONADA:
13544 m²

SUPERFICIE PARA LA
PROYECCIÓN DE LA ESTACIÓN:
3030,5 m²

E.T.S DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

AUTOR:	JOSÉ MANUEL SANTISTEBAN ARRIBAS	TÍTULO DEL PROYECTO: ESTACIÓN DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO A VEHÍCULOS km 26, Carretera de Burgos (A1), 28706, San Sebastián de los Reyes, Madrid
ESCALA:	1:500	
FECHA:	MAYO 2015	TÍTULO DEL PLANO: EMPLAZAMIENTO DE LA PARCELA Y PREXISTENCIAS
Nº de Plano:	L.3	

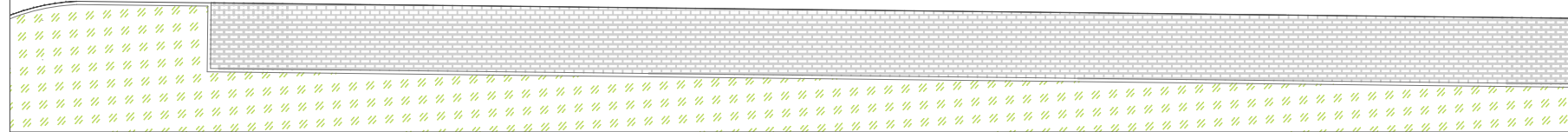




E.T.S DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

AUTOR:	JOSÉ MANUEL SANTISTEBAN ARRIBAS	TÍTULO DEL PROYECTO: ESTACIÓN DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO A VEHÍCULOS km 26, Carretera de Burgos (A1), 28706, San Sebastián de los Reyes, Madrid
ESCALA:	1:400	
FECHA:	MAYO 2015	TÍTULO DEL PLANO: INTERVENCIÓN 1
Nº de Plano:	L.4	



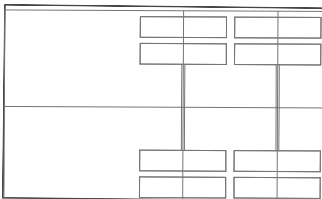
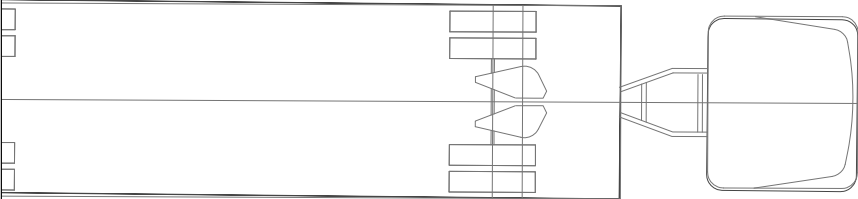
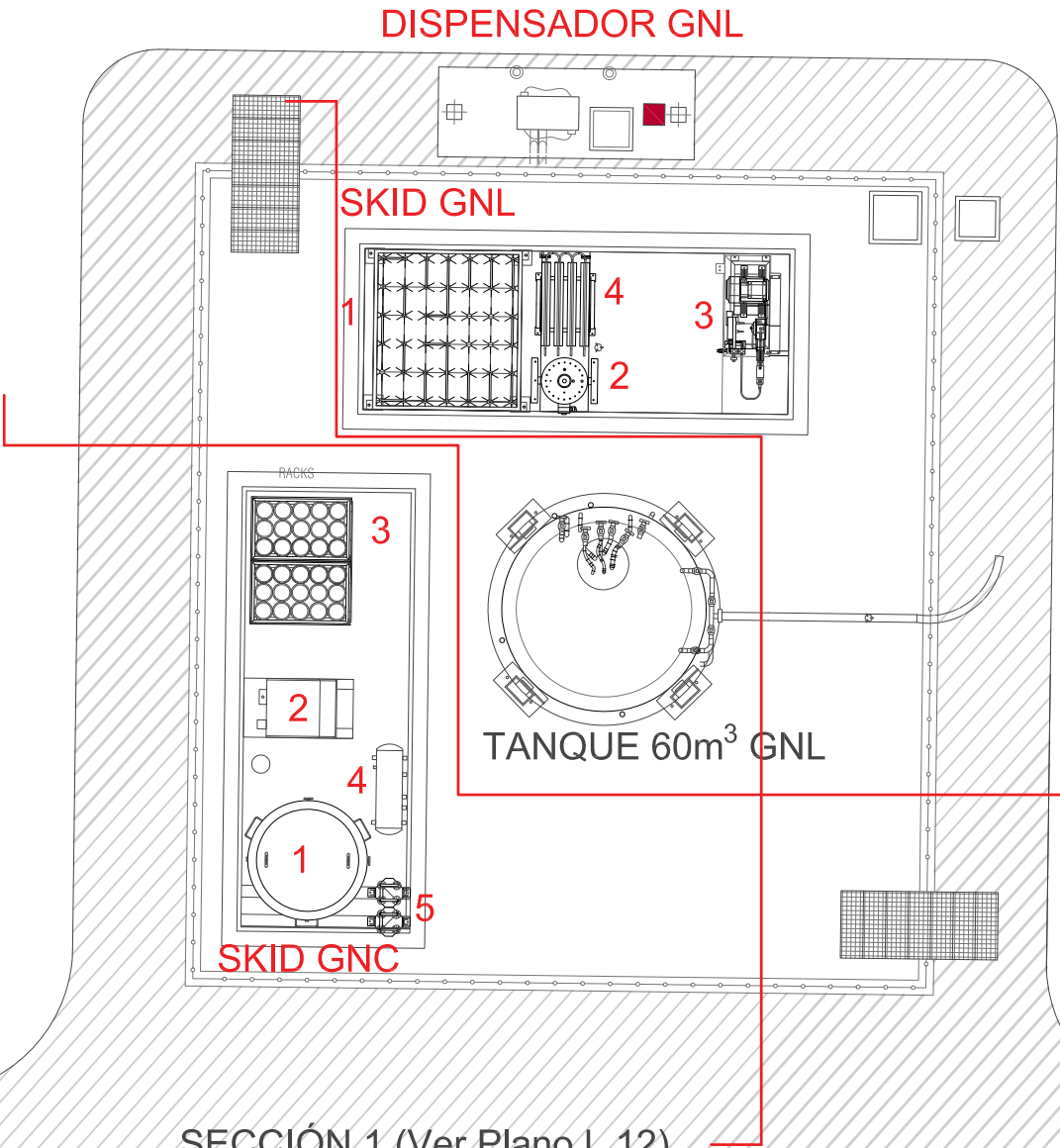


SKID GNC

- 1. DEPÓSITO BOIL-OFF
- 2. COMPRESOR BOIL-OFF
- 3. VASIJAS ALMACENAMIENTO GNC
- 4. ODORIZADOR (BAJA PRESIÓN)
- 5. VAPORIZADOR BOIL-OFF

SKID GNL

- 1. VAPORIZADOR AMBIENTAL ALTA PRESIÓN
- 2. BOMBA CRIOGÉNICA CENTRÍFUGA SUMERGIDA
- 3. BOMBA CRIOGÉNICA DE PISTONES
- 4. AMBIENTADOR GNL

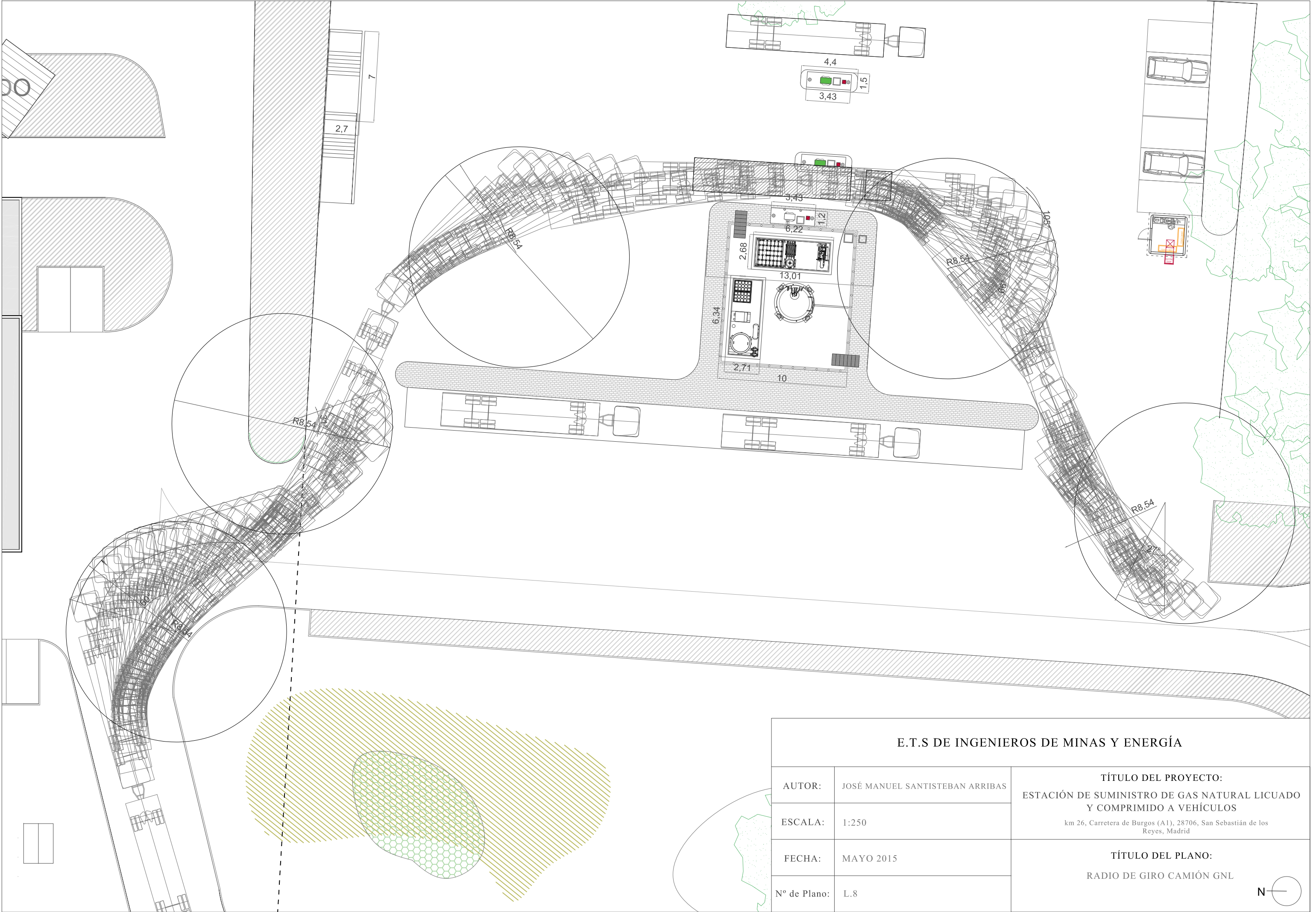


E.T.S DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

AUTOR:	JOSÉ MANUEL SANTISTEBAN ARRIBAS	TÍTULO DEL PROYECTO: ESTACIÓN DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO A VEHÍCULOS km 26, Carretera de Burgos (A1), 28706, San Sebastián de los Reyes, Madrid
ESCALA:	1:100	
FECHA:	MAYO 2015	TÍTULO DEL PLANO: INTERVENCIÓN 3 - ELEMENTOS Y SECCIONES
Nº de Plano:	L.6	

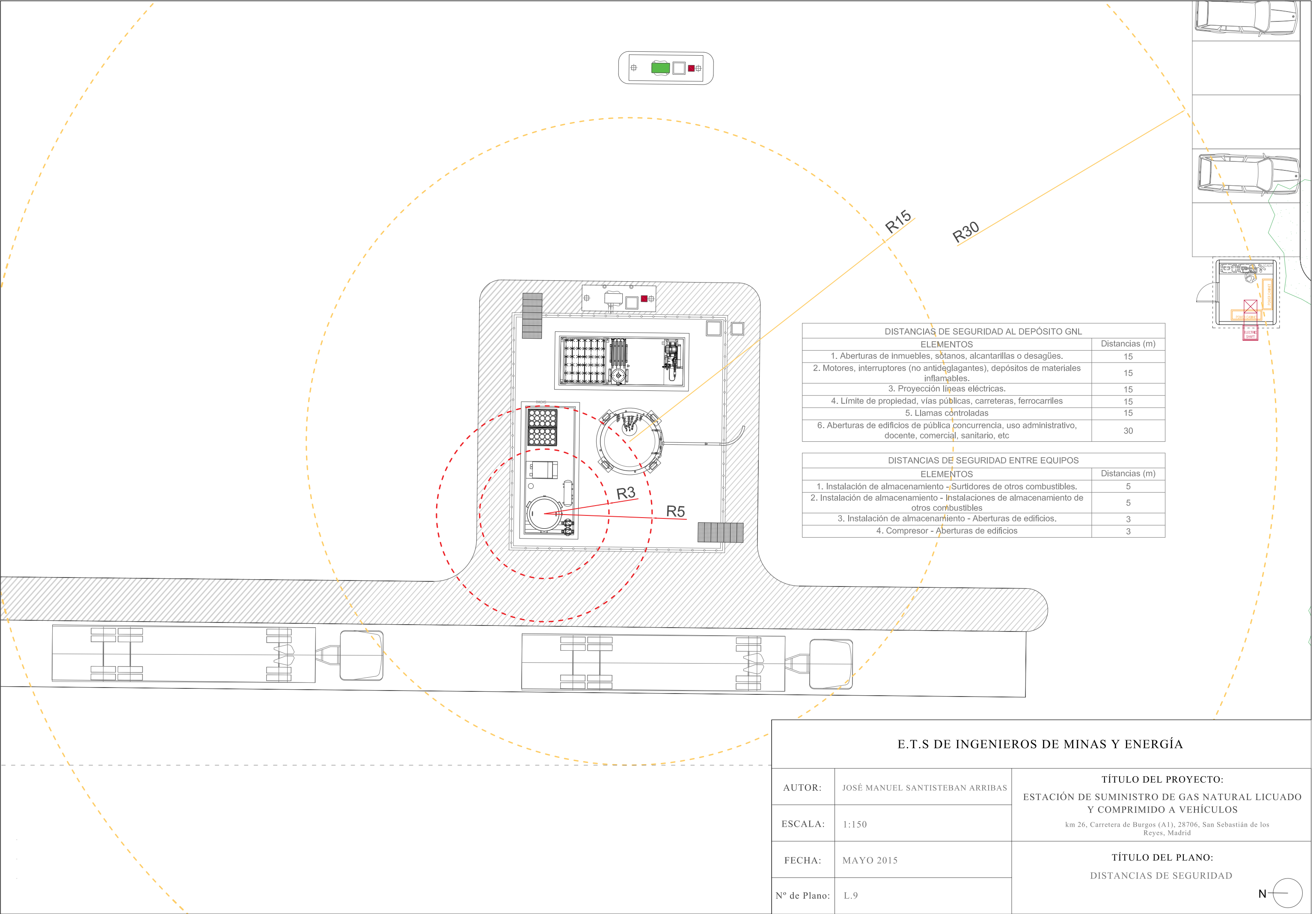






E.T.S DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA		
AUTOR:	JOSÉ MANUEL SANTISTEBAN ARRIBAS	TÍTULO DEL PROYECTO: ESTACIÓN DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO A VEHÍCULOS km 26, Carretera de Burgos (A1), 28706, San Sebastián de los Reyes, Madrid
ESCALA:	1:250	
FECHA:	MAYO 2015	TÍTULO DEL PLANO: RADIO DE GIRO CAMIÓN GNL
Nº de Plano:	L.8	

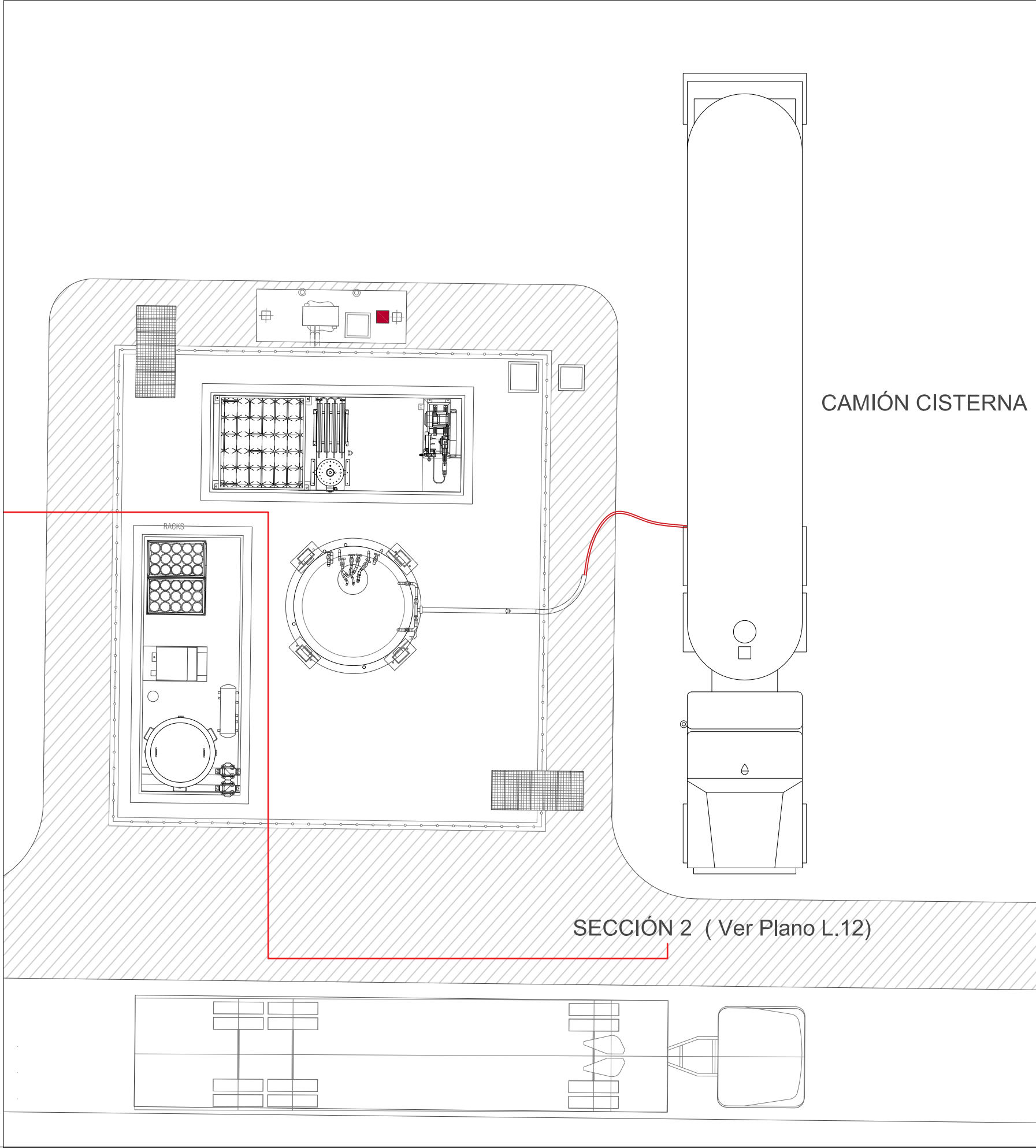




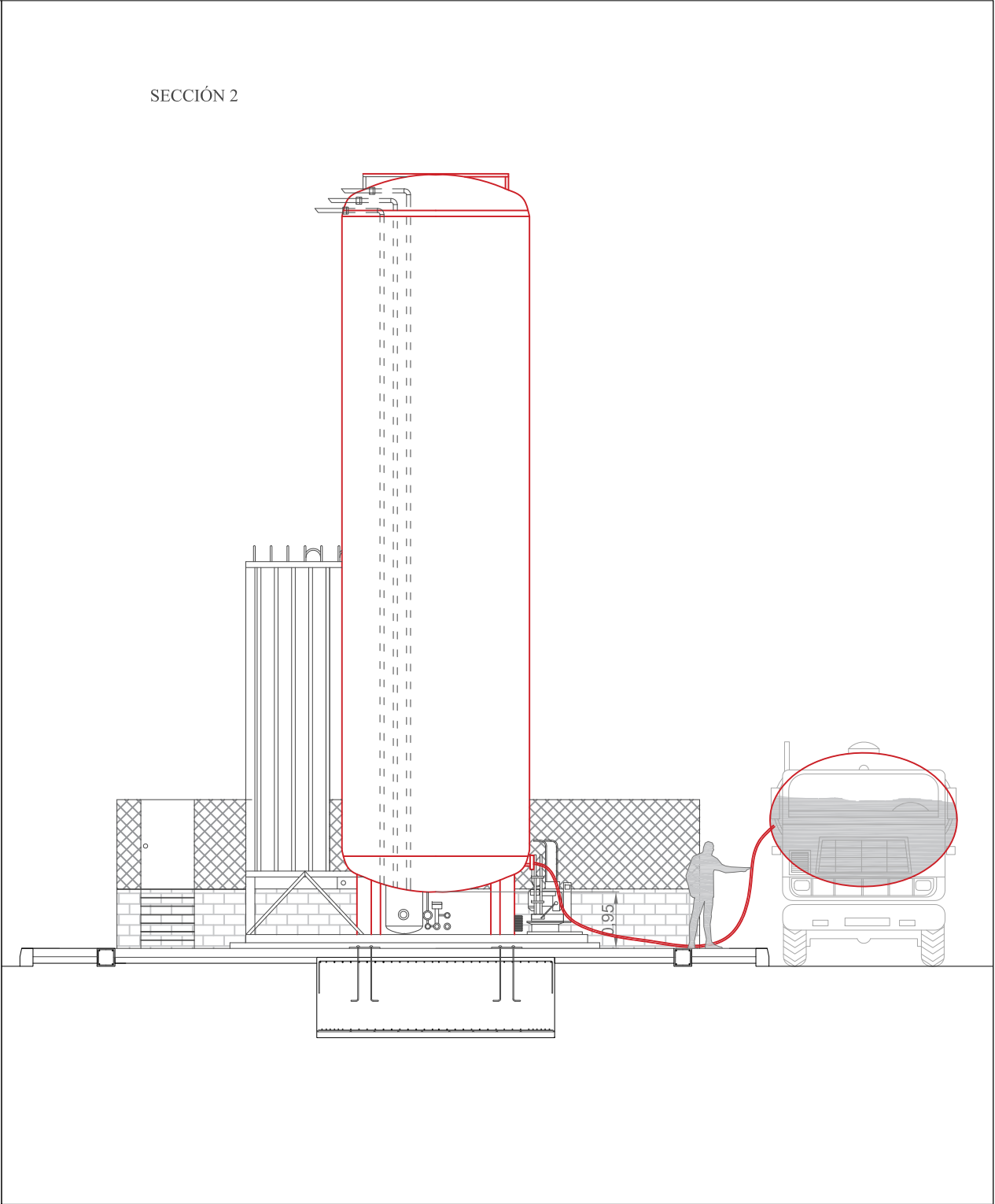
E.T.S DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

AUTOR:	JOSÉ MANUEL SANTISTEBAN ARRIBAS	TÍTULO DEL PROYECTO: ESTACIÓN DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO A VEHÍCULOS km 26, Carretera de Burgos (A1), 28706, San Sebastián de los Reyes, Madrid
ESCALA:	1:150	
FECHA:	MAYO 2015	TÍTULO DEL PLANO: DISTANCIAS DE SEGURIDAD
Nº de Plano:	L.9	





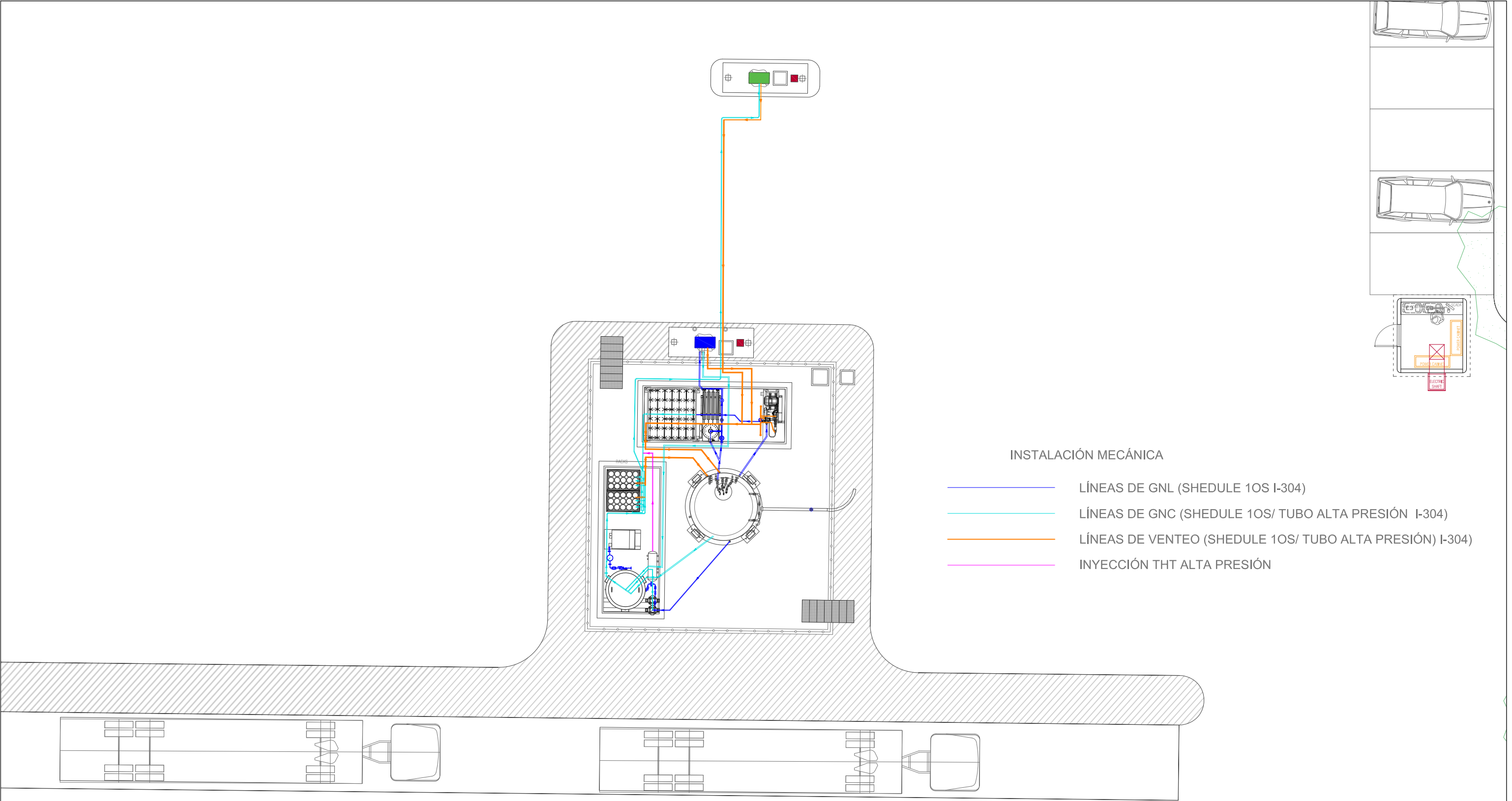
CAMIÓN CISTERNA



E.T.S DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

AUTOR:	JOSÉ MANUEL SANTISTEBAN ARRIBAS	TÍTULO DEL PROYECTO: ESTACIÓN DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO A VEHÍCULOS km 26, Carretera de Burgos (A1), 28706, San Sebastián de los Reyes, Madrid
ESCALA:	1:100	
FECHA:	MAYO 2015	TÍTULO DEL PLANO: DESCARGA GNL - CAMIÓN CISTERNA
Nº de Plano:	L.10	



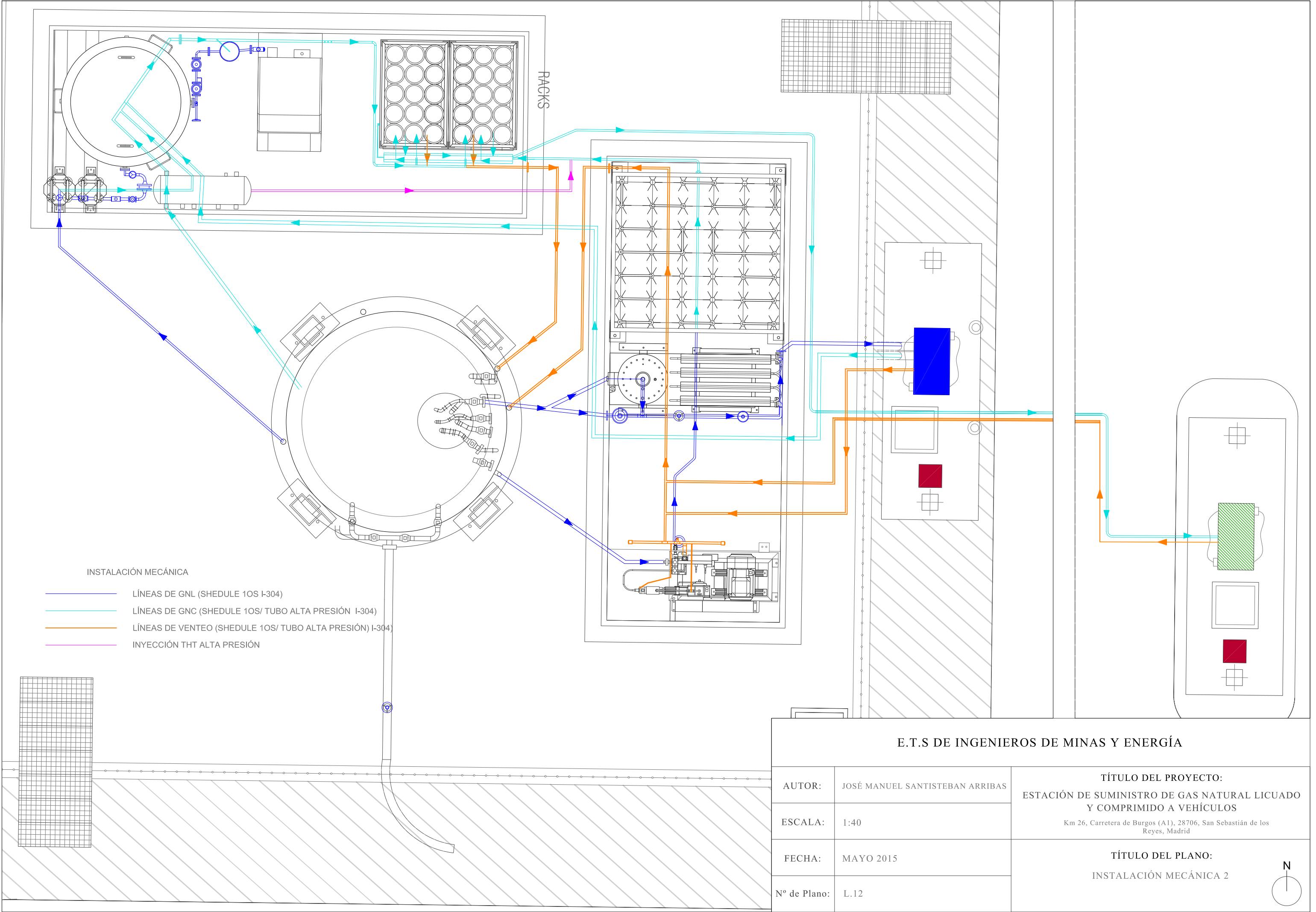


INSTALACIÓN MECÁNICA

- LÍNEAS DE GNL (SHEDULE 10S I-304)
- LÍNEAS DE GNC (SHEDULE 10S/ TUBO ALTA PRESIÓN I-304)
- LÍNEAS DE VENTEO (SHEDULE 10S/ TUBO ALTA PRESIÓN) I-304)
- INYECCIÓN THT ALTA PRESIÓN

E.T.S DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA		
AUTOR:	JOSÉ MANUEL SANTISTEBAN ARRIBAS	TÍTULO DEL PROYECTO: ESTACIÓN DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO A VEHÍCULOS km 26, Carretera de Burgos (A1), 28706, San Sebastián de los Reyes, Madrid
ESCALA:	1:150	
FECHA:	MAYO 2015	TÍTULO DEL PLANO: INSTALACIÓN MECÁNICA 1
Nº de Plano:	L.11	



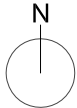


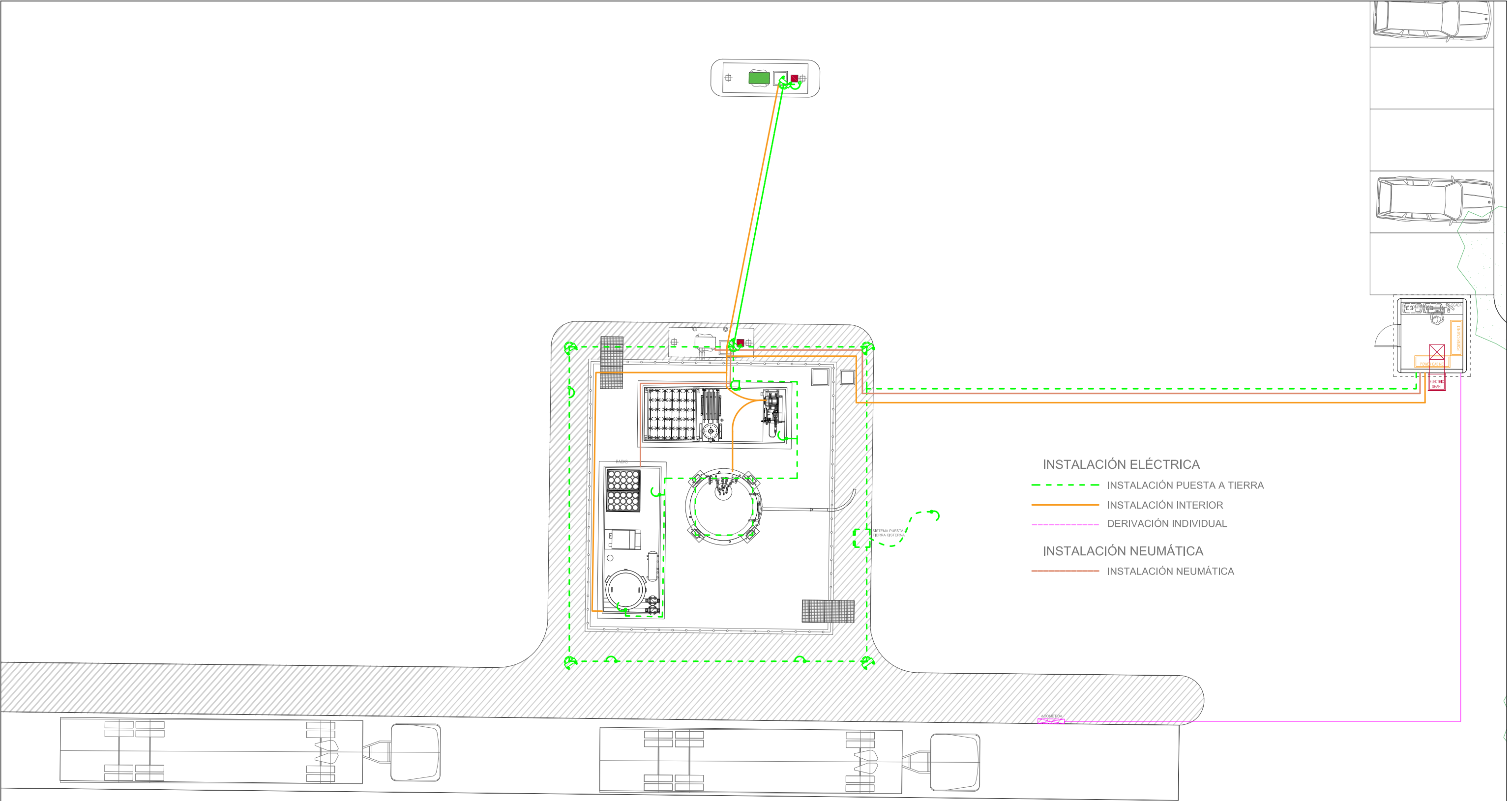
INSTALACIÓN MECÁNICA

- LÍNEAS DE GNL (SHEDULE 10S I-304)
- LÍNEAS DE GNC (SHEDULE 10S/ TUBO ALTA PRESIÓN I-304)
- LÍNEAS DE VENTEO (SHEDULE 10S/ TUBO ALTA PRESIÓN I-304)
- INYECCIÓN THT ALTA PRESIÓN

E.T.S DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

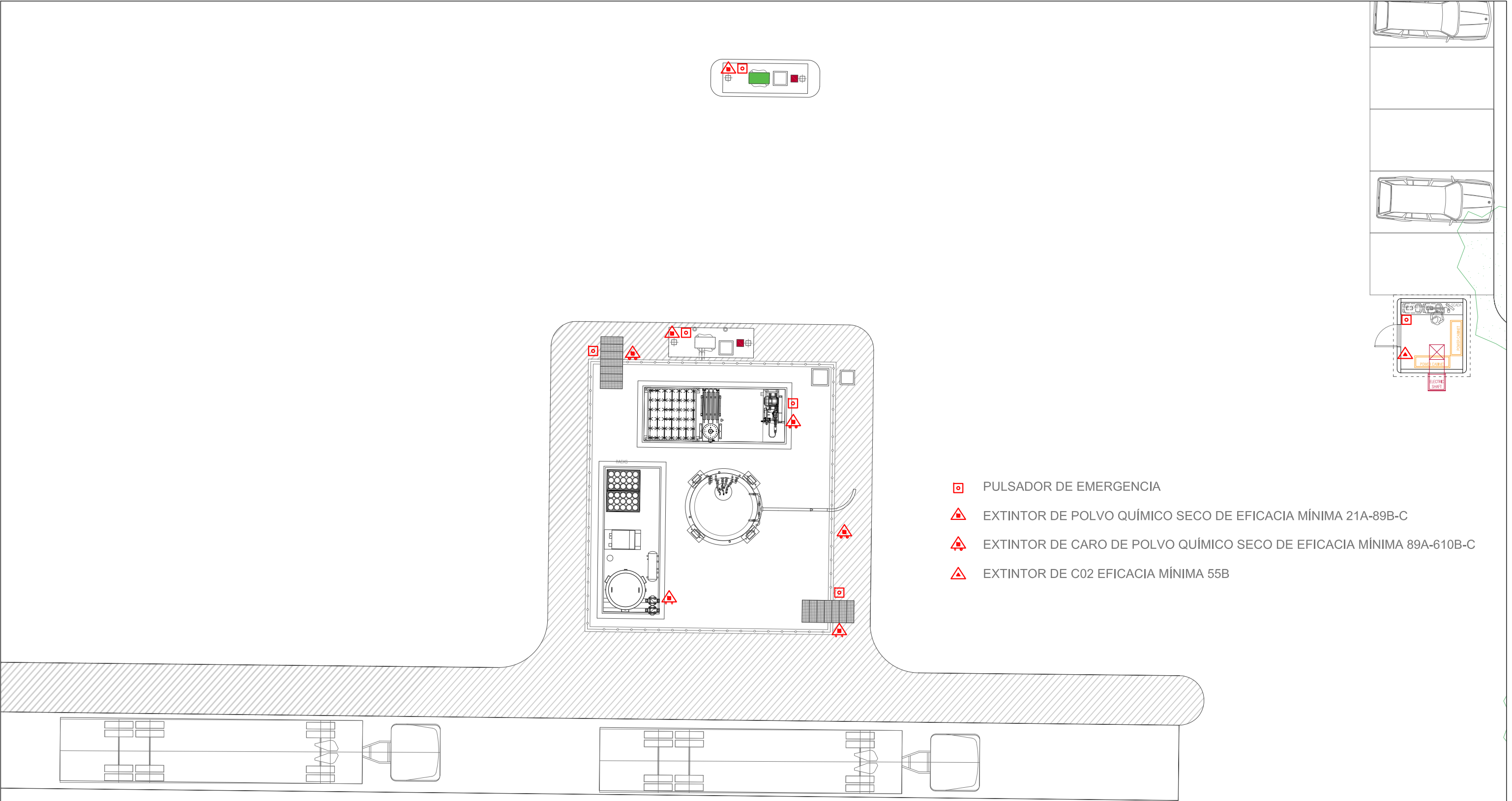
AUTOR:	JOSÉ MANUEL SANTISTEBAN ARRIBAS	TÍTULO DEL PROYECTO: ESTACIÓN DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO A VEHÍCULOS Km 26, Carretera de Burgos (A1), 28706, San Sebastián de los Reyes, Madrid
ESCALA:	1:40	
FECHA:	MAYO 2015	TÍTULO DEL PLANO: INSTALACIÓN MECÁNICA 2
Nº de Plano:	L.12	









E.T.S DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA		
AUTOR:	JOSÉ MANUEL SANTISTEBAN ARRIBAS	TÍTULO DEL PROYECTO: ESTACIÓN DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO A VEHÍCULOS km 26, Carretera de Burgos (A1), 28706, San Sebastián de los Reyes, Madrid
ESCALA:	1:150	
FECHA:	MAYO 2015	TÍTULO DEL PLANO: INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y NEUMÁTICA
Nº de Plano:	L.13	



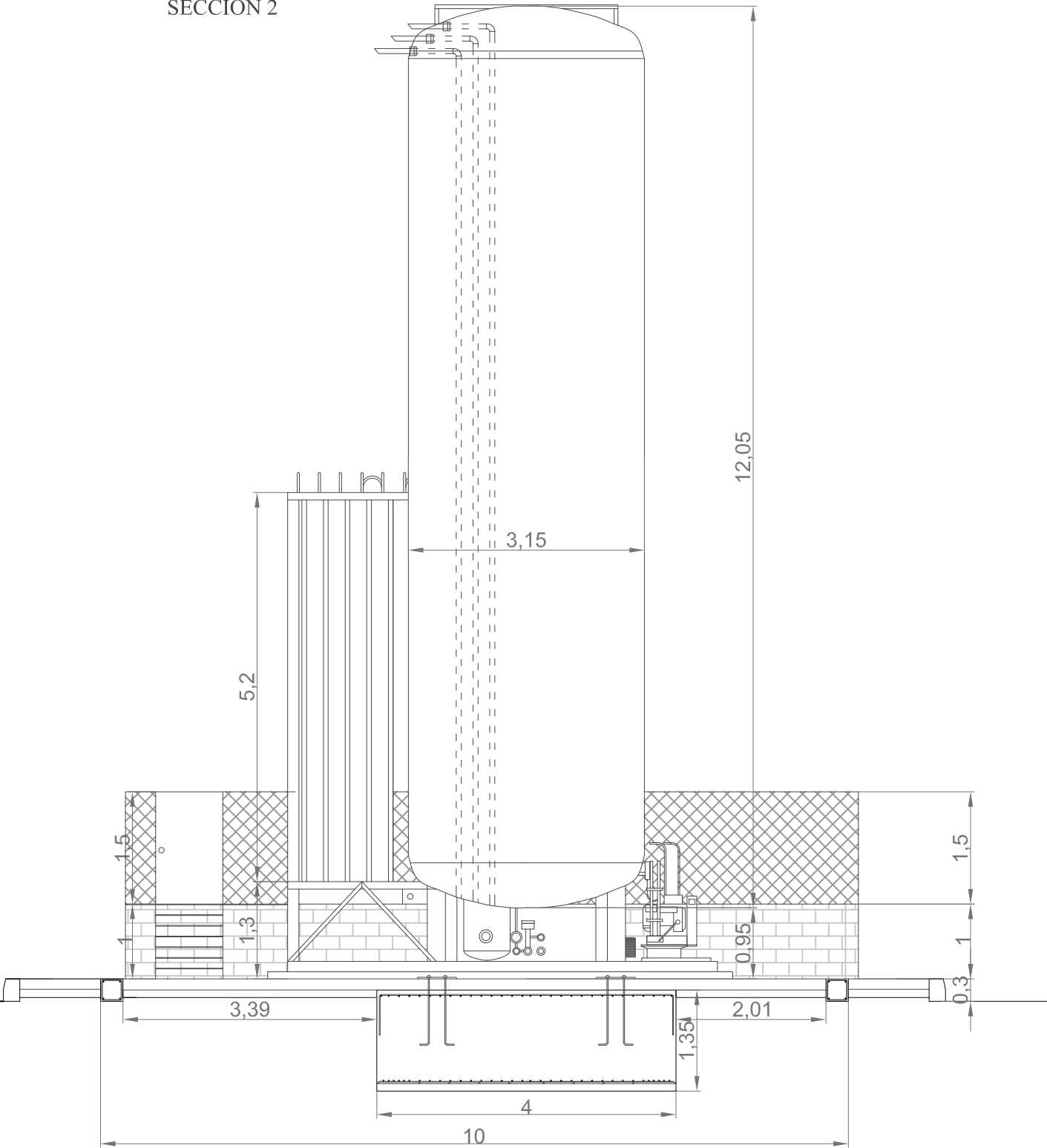


-  PULSADOR DE EMERGENCIA
-  EXTINTOR DE POLVO QUÍMICO SECO DE EFICACIA MÍNIMA 21A-89B-C
-  EXTINTOR DE CARO DE POLVO QUÍMICO SECO DE EFICACIA MÍNIMA 89A-610B-C
-  EXTINTOR DE C02 EFICACIA MÍNIMA 55B

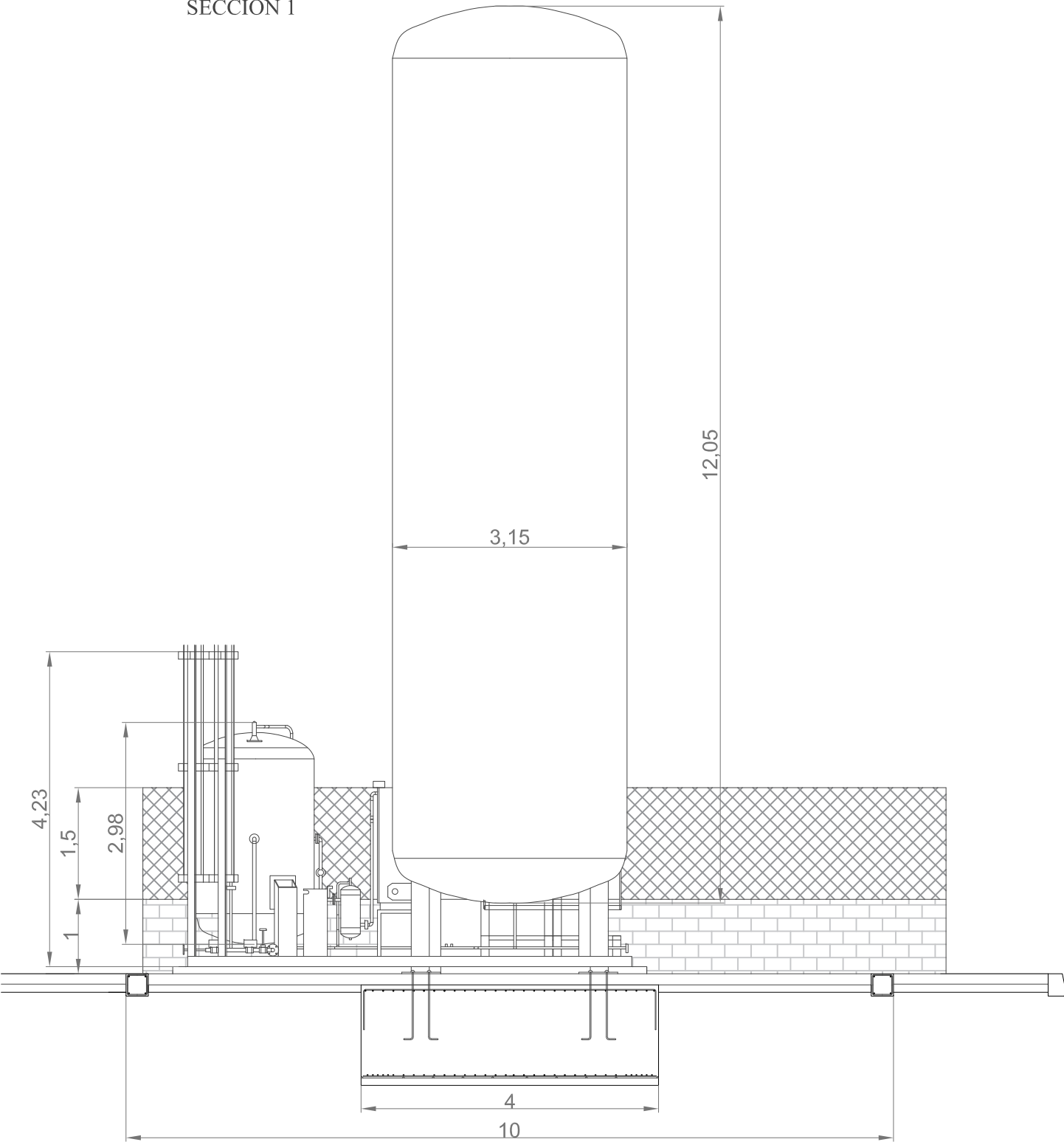
E.T.S DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA		
AUTOR:	JOSÉ MANUEL SANTISTEBAN ARRIBAS	TÍTULO DEL PROYECTO: ESTACIÓN DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO A VEHÍCULOS km 26, Carretera de Burgos (A1), 28706, San Sebastián de los Reyes, Madrid
ESCALA:	1:150	
FECHA:	MAYO 2015	TÍTULO DEL PLANO: INSTALACIÓN CONTRA INCENDIOS
Nº de Plano:	L.14	



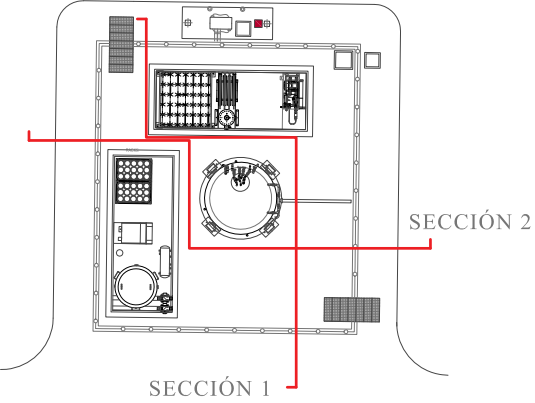
SECCIÓN 2



SECCIÓN 1



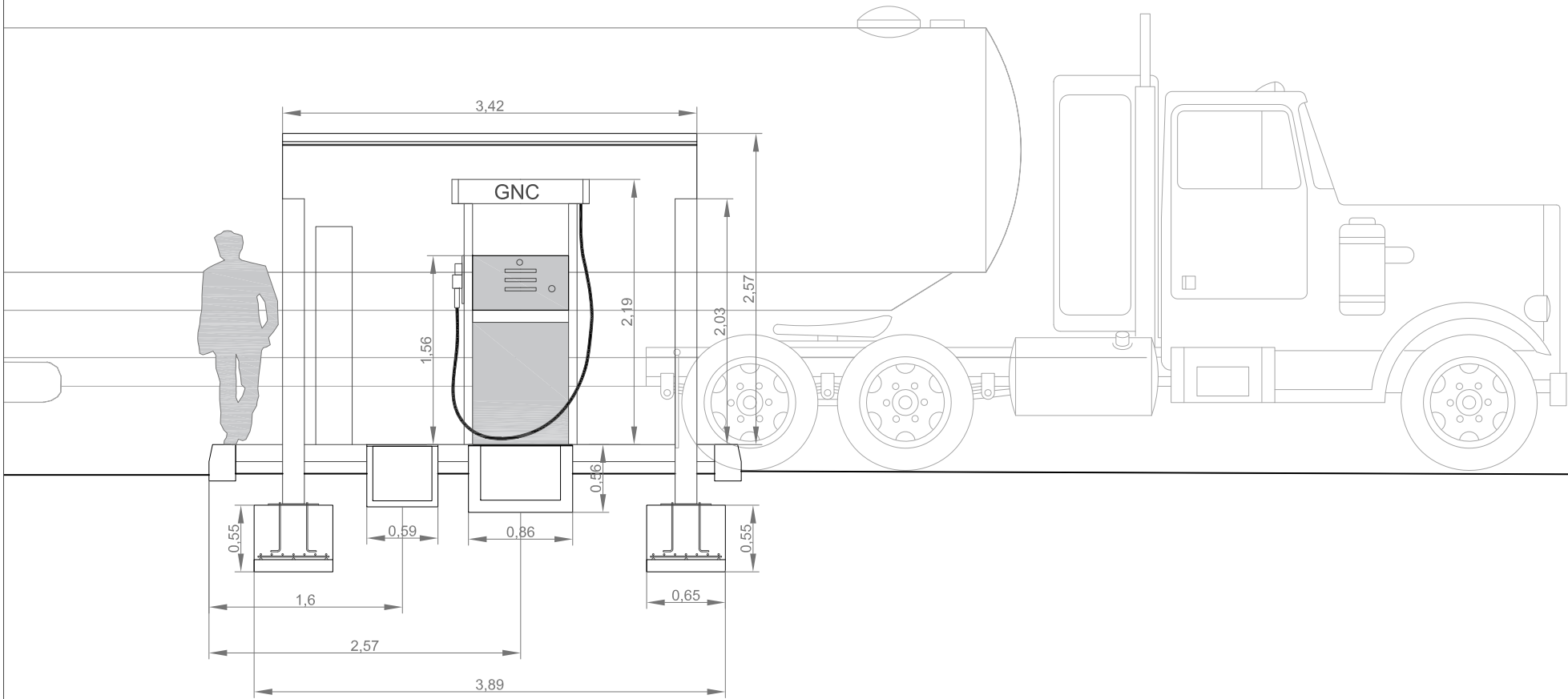
PLANO 3



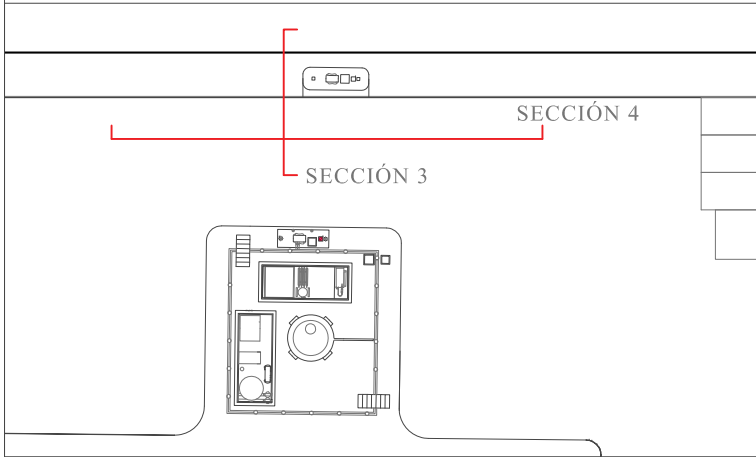
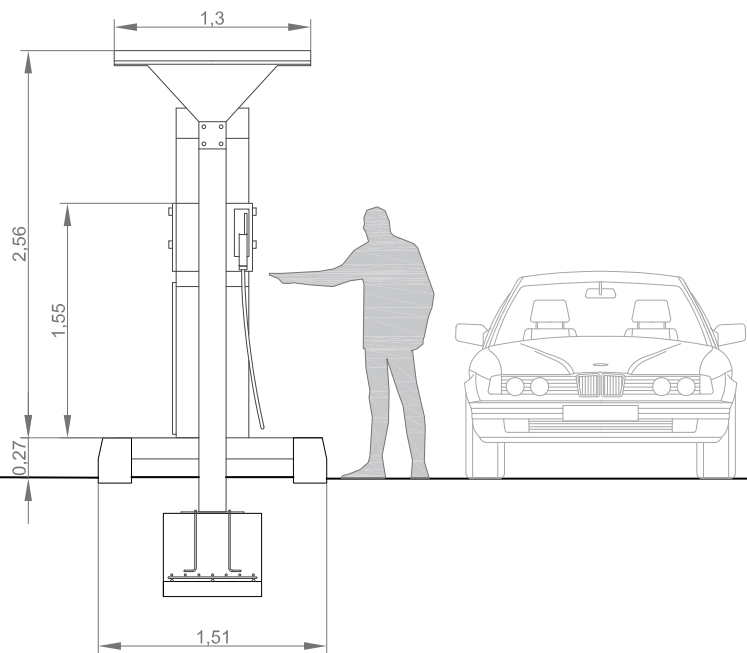
E.T.S DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

AUTOR:	JOSÉ MANUEL SANTISTEBAN ARRIBAS	TÍTULO DEL PROYECTO: ESTACIÓN DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO A VEHÍCULOS Km 26, Carretera de Burgos (A1), 28706, San Sebastián de los Reyes, Madrid
ESCALA:	1:75	
FECHA:	MAYO 2015	TÍTULO DEL PLANO: SECCIONES 1 Y 2
Nº de Plano:	L.15	

SECCIÓN 3

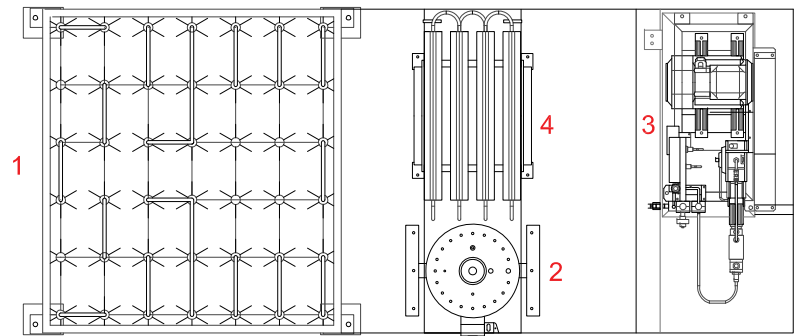


SECCIÓN 4

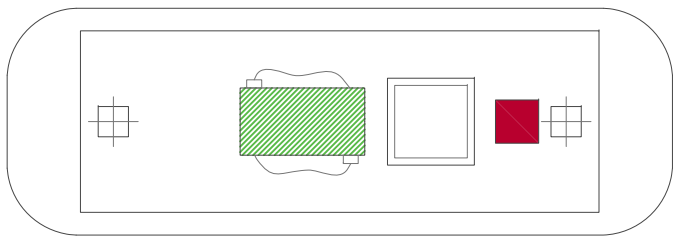


E.T.S DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA		
AUTOR:	JOSÉ MANUEL SANTISTEBAN ARRIBAS	TÍTULO DEL PROYECTO: ESTACIÓN DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO A VEHÍCULOS Km 26, Carretera de Burgos (A1), 28706, San Sebastián de los Reyes, Madrid
ESCALA:	1:50	
FECHA:	MAYO 2015	TÍTULO DEL PLANO: SECCIONES 3 Y 4
Nº de Plano:	L.16	

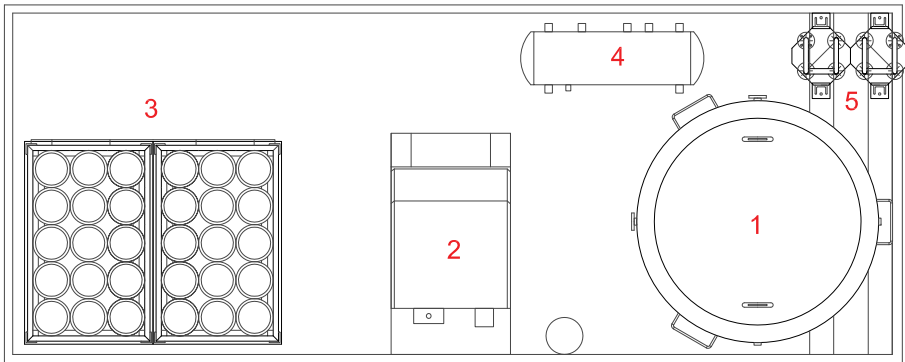
SKID GNL



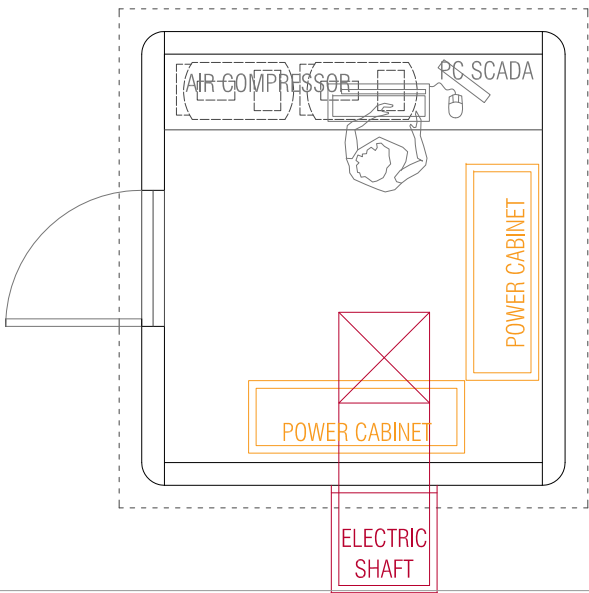
DISPENSADOR GNC



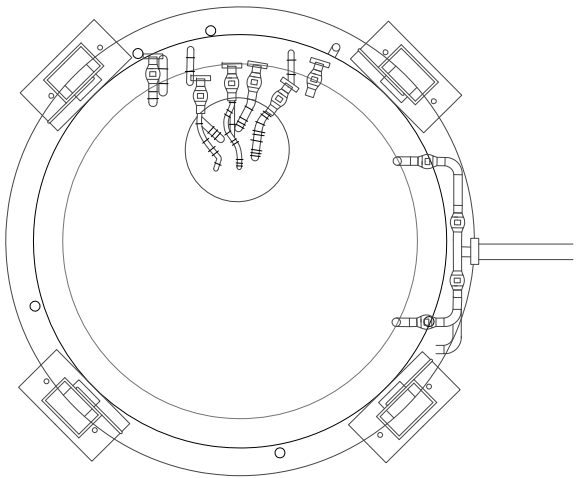
SKID GNC



SALA DE CONTROL



TANQUE DE GNL



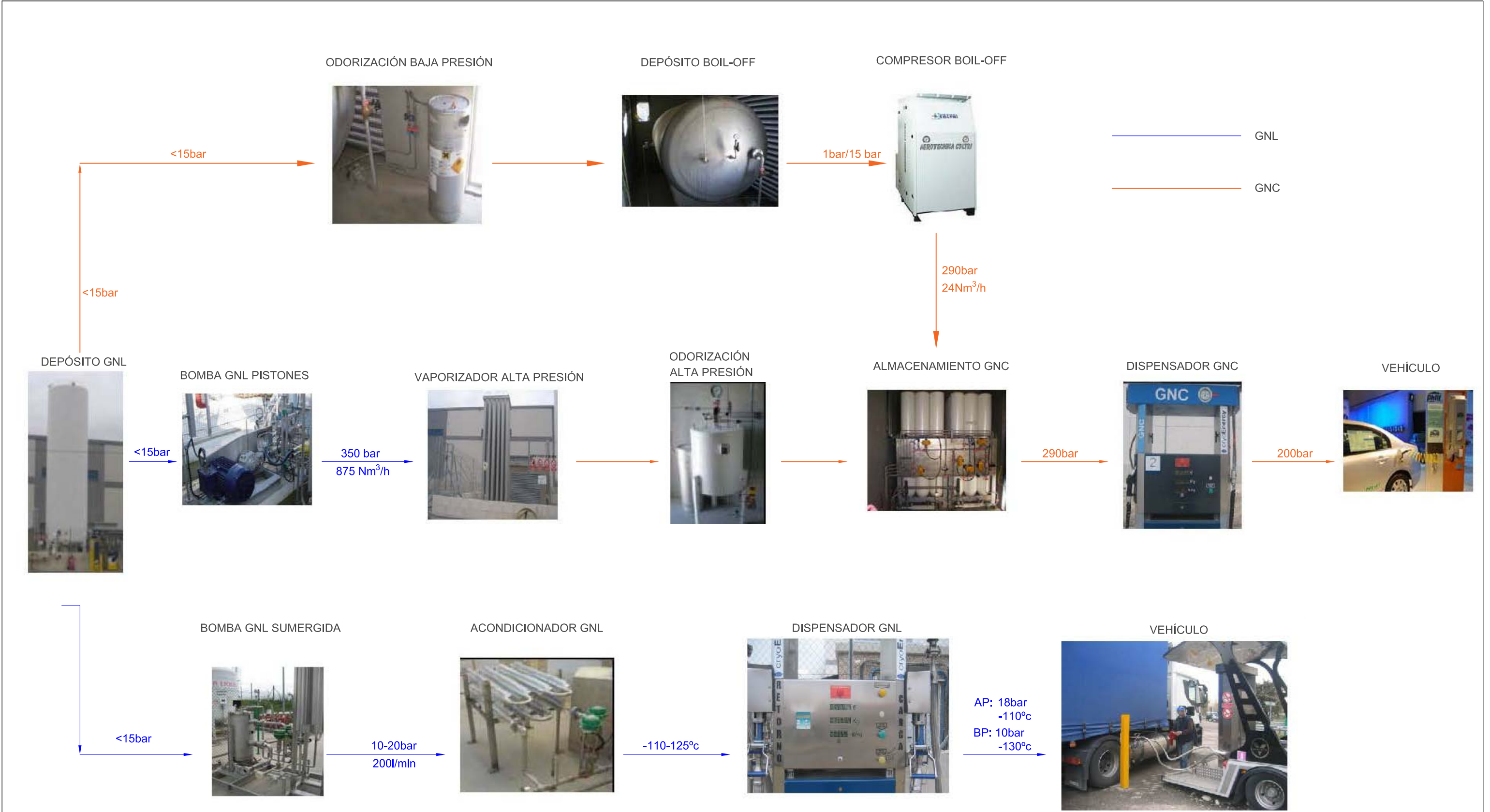
SKID GNC

- 1. DEPÓSITO BOIL-OFF
- 2. COMPRESOR BOIL-OFF
- 3. VASIJAS ALMACENAMIENTO GNC
- 4. ODORIZADOR (BAJA PRESIÓN)
- 5. VAPORIZADOR BOIL-OFF

SKID GNL

- 1. VAPORIZADOR AMBIENTAL ALTA PRESIÓN
- 2. BOMBA CRIOGÉNICA CENTRÍFUGA SUMERGIDA
- 3. BOMBA CRIOGÉNICA DE PISTONES
- 4. AMBIENTADOR GNL

E.T.S DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA		
AUTOR:	JOSÉ MANUEL SANTISTEBAN ARRIBAS	TÍTULO DEL PROYECTO: ESTACIÓN DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO A VEHÍCULOS Km 26, Carretera de Burgos (A1), 28706, San Sebastián de los Reyes, Madrid
ESCALA:	1:50	
FECHA:	MAYO 2015	TÍTULO DEL PLANO: EQUIPOS
Nº de Plano:	L.17	



E.T.S DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA		
AUTOR:	JOSÉ MANUEL SANTISTEBAN ARRIBAS	TÍTULO DEL PROYECTO: ESTACIÓN DE SUMINISTRO DE GAS NATURAL LICUADO Y COMPRIMIDO A VEHÍCULOS Km 26, Carretera de Burgos (A1), 28706, San Sebastián de los Reyes, Madrid
ESCALA:		
FECHA:	MAYO 2015	TÍTULO DEL PLANO: DIAGRAMA DE FLUJO
Nº de Plano:	L.18	